



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Курс «Моделирование климата городов», лекция №1

Введение

Михаил Иванович Варенцов

mvarentsov@hse.ru

Давайте познакомимся

Коротко обо мне:

- Выпускник географического факультета МГУ, кафедры метеорологии и климатологии (2014)
- Кандидат географических наук (2018), тема диссертации «Анализ и моделирование мезоклиматических особенностей Московской агломерации» (научный руководитель – проф., д.г.н. А.В. Кислов)
- Старший научный сотрудник НИВЦ МГУ, ИФА РАН, Гидрометцентра РФ
- Автор более 70 публикаций в международных рецензируемых журналах
- **Компетенции и интересы:**
 - Городская метеорология и климатология
 - Численное моделирование погоды и климата на региональном масштабе
 - Работа на суперкомпьютерах
 - Анализ данных
 - Экспериментальные метеорологические исследования



Давайте познакомимся

Расскажите о себе:

- 1) Как Вас зовут?
- 2) Тема научного исследования (например, бакалаврского диплома)?
- 3) Почему записались на этот курс и что хотите от него получить? *

*Есть возможность учесть это при подготовке лекций и заданий!

Информация о курсе

- Курс экспериментальный, проводится впервые
- Курс практической направленности:
8 ч. лекции, 32 ч. семинары, 74 ч. самостоятельная работа
- Экзамена не будет!
- Но будут другие формы контроля успеваемости:
 - Эссе
 - Практические работы (6 шт.)
 - Курсовой проект: аналитическое исследование на основе материалов нескольких практических работ. В конце курса планируется защита проектов.

Практические работы

Предполагается выполнение практических работ по следующим темам:

- Анализ данных мониторинга и моделирования для городов
- Пространственные данные для моделирования городского климата
- Мезомасштабного моделирования городского климата
- Микромасштабное моделирование городского климата
- Моделирование биоклиматической комфортности в городской среде
- Моделирование градостроительных и архитектурных сценариев



Курсовой
проект

Практические работы выполняются:

- на языке программирования Python (альтернативные варианты обсуждаются индивидуально)
- по данным для отдельных городов (каждый студент выбирает отдельный город)
- разбираются на семинарах, далее выполняются в рамках самостоятельной работы



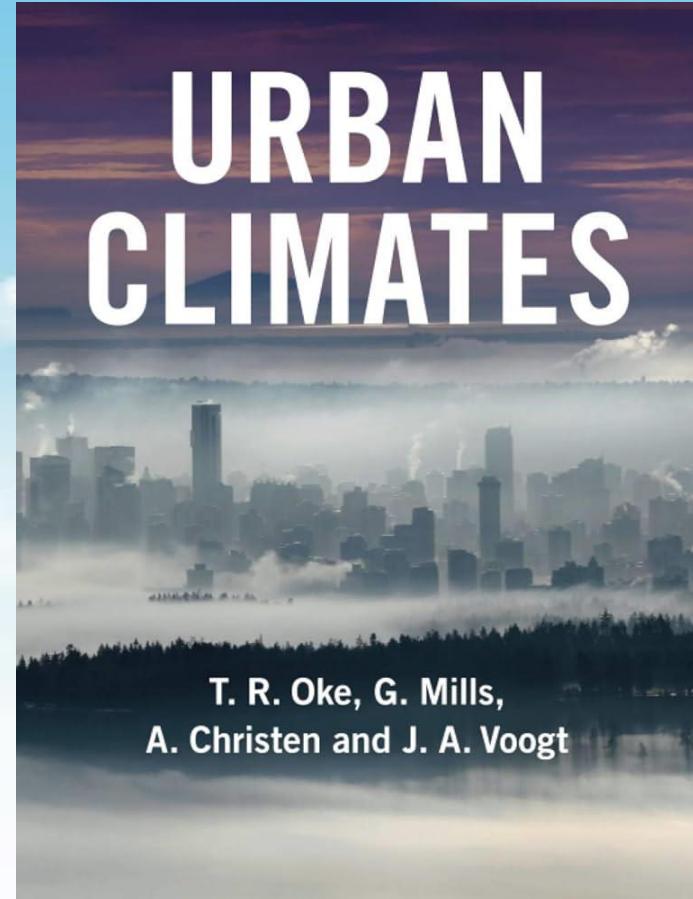
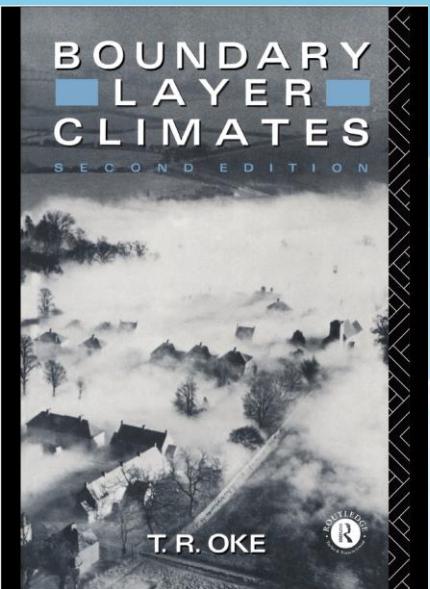
Оценка за каждую практическую работу определяется:

- Результатом выполнения задания - графиками, картами и пр., оформленными в виде документа или презентации
- Исходным кодом, использованным для анализа данных (если предполагается программирование)
- Ответами на вопросы по теме практической работы

Организационные моменты

- Главное правило: есть вопрос – спроси!
- Будет создан репозиторий на GitHub с материалами по курсу (презентации, литература, данные, примеры скриптов для работы данными)
- Коммуникация:
 - E-mail: e-mvarentsov@hse.ru
 - Telegram: https://t.me/mikhail_varentsoff
 - Чат в Telegram по курсу?
- Анализ данных – местные компьютеры или личные ноутбуки?

Рекомендованная литература

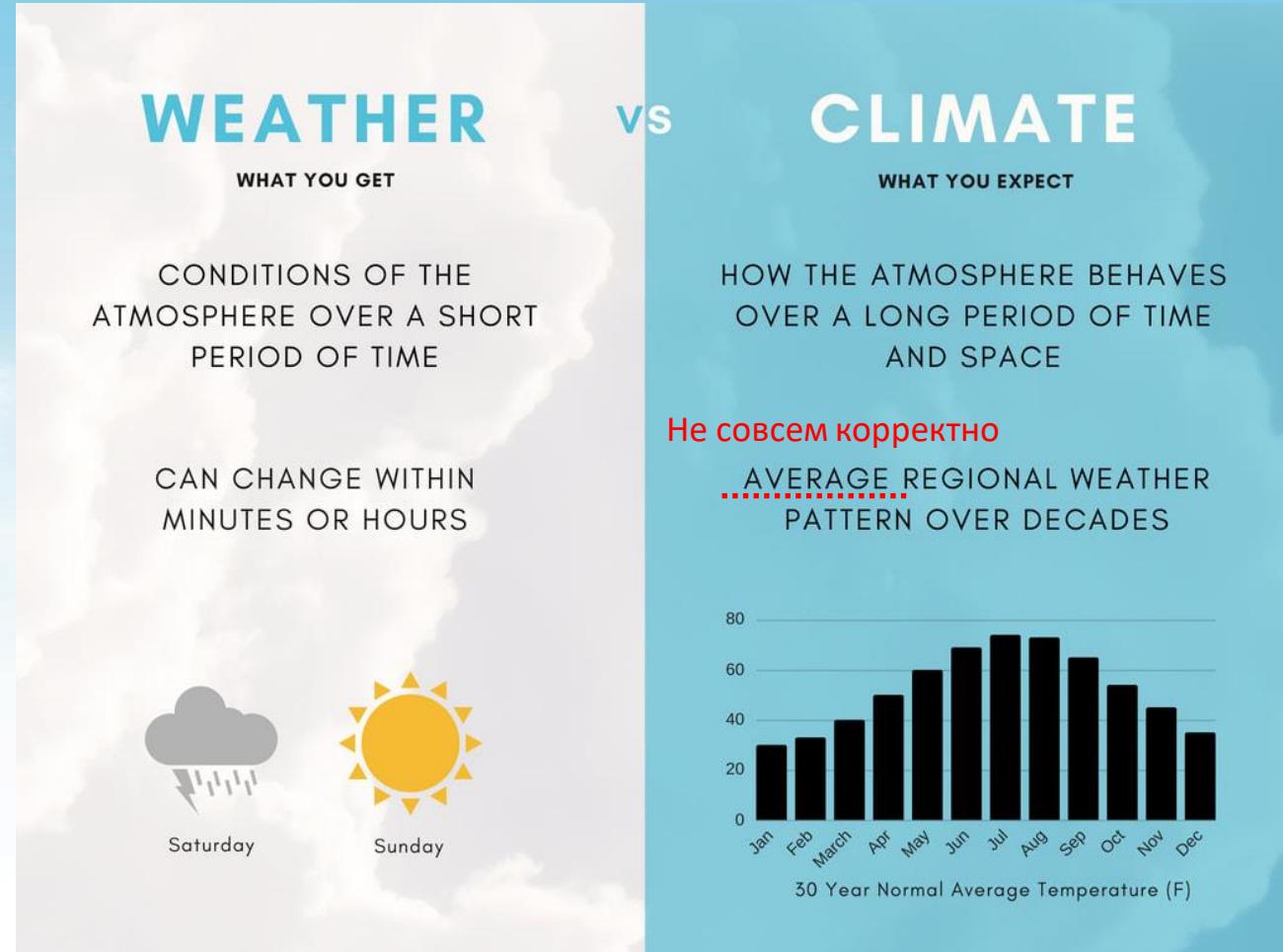




Немного повторения:
погода, климат, атмосфера

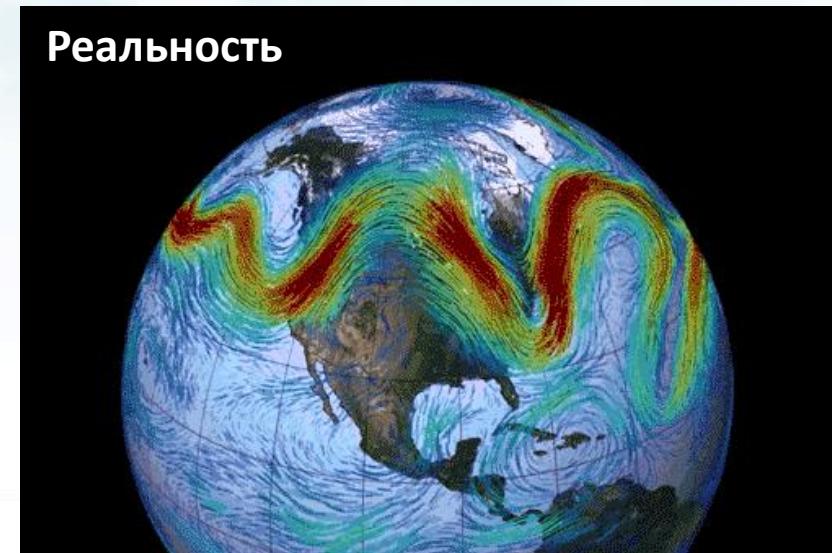
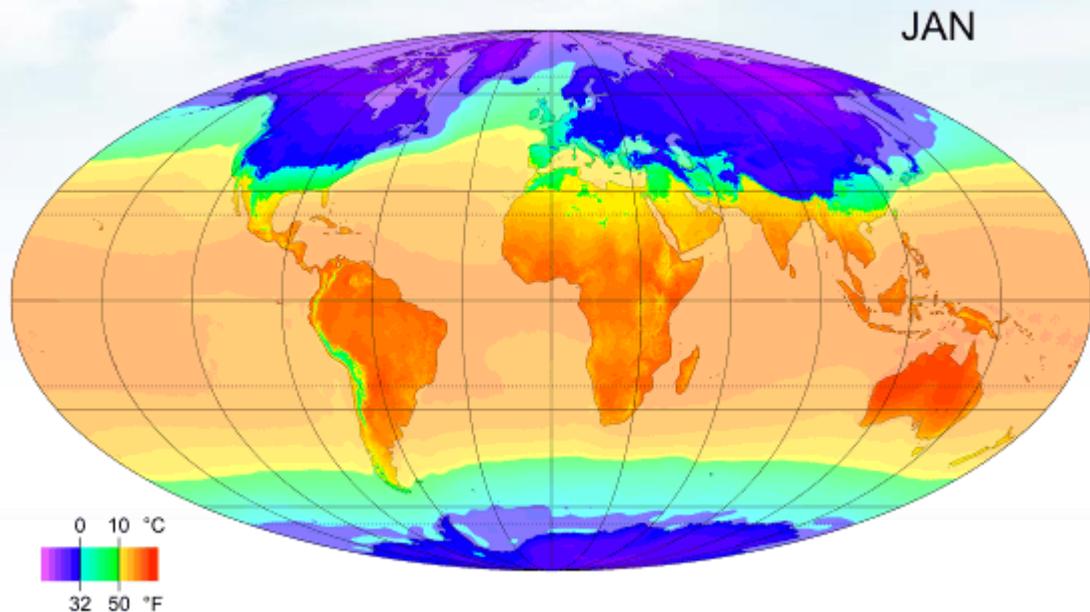
Погода и климат

- «Климат – это то, что мы ожидаем, погода – то, что получаем» (Марк Твен)
- Метеорология – наука об атмосферных процессах
- Синоптика – раздел метеорологии, наука о прогнозе погоды



Погода и климат

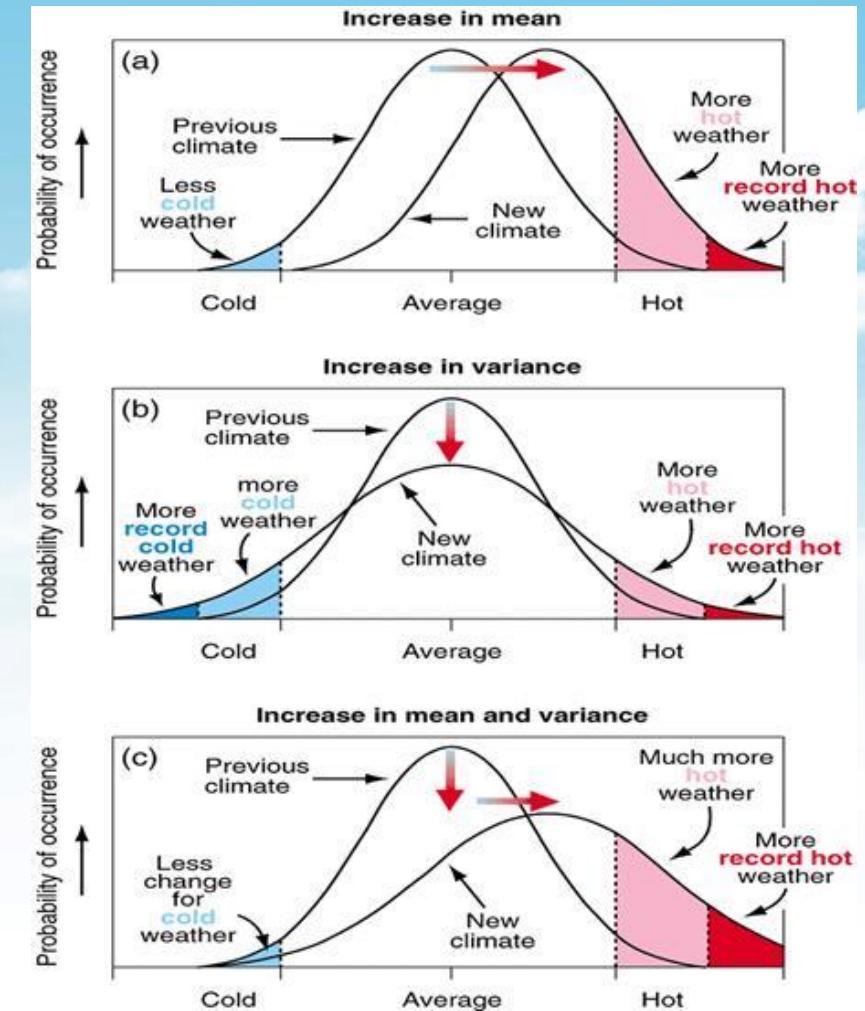
Климат - многолетний режим погоды. Слово «климат» происходит от греческого «*klimatos*», которое буквально переводится как «наклон». Этот термин впервые был введен 2200 лет назад древнегреческим астрономом Гиппархом. Ученый имел в виду наклон земной поверхности к солнечным лучам, различие которого от экватора к полюсу уже тогда считалось причиной различий погоды в низких и высоких широтах.



Погода и климат

Климат ≠ средние многолетние значения

Климат - статистический ансамбль состояний, принимаемый климатической системой за достаточно большой интервал времени

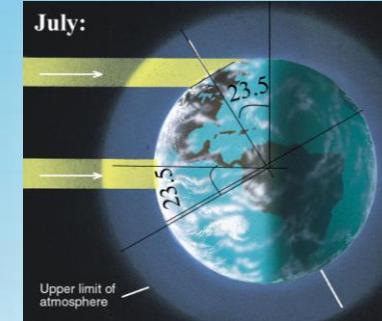


IPCC (2001) graph illustrating how a shift and/or widening of a probability distribution of temperatures affects the probability of extremes.

Климатообразующие факторы

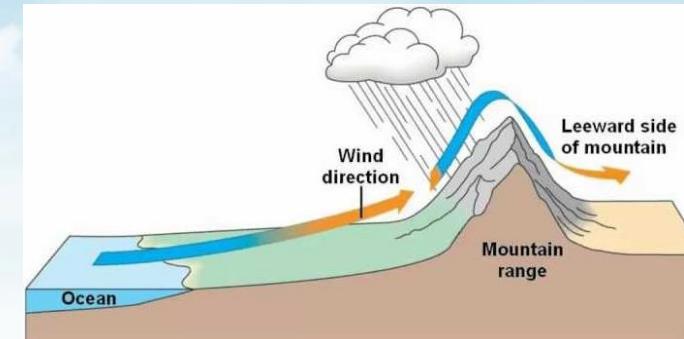
□ Внешние

- Светимость Солнца
 - Орбитальные параметры Земли
 - Геотермальное тепло Земли
- ...

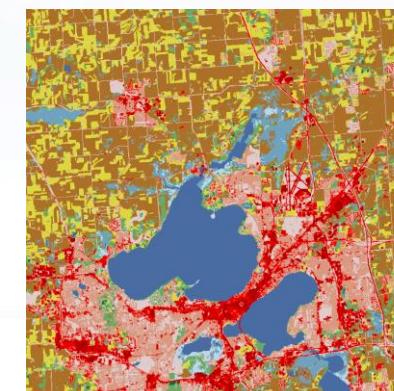


□ Внутренние

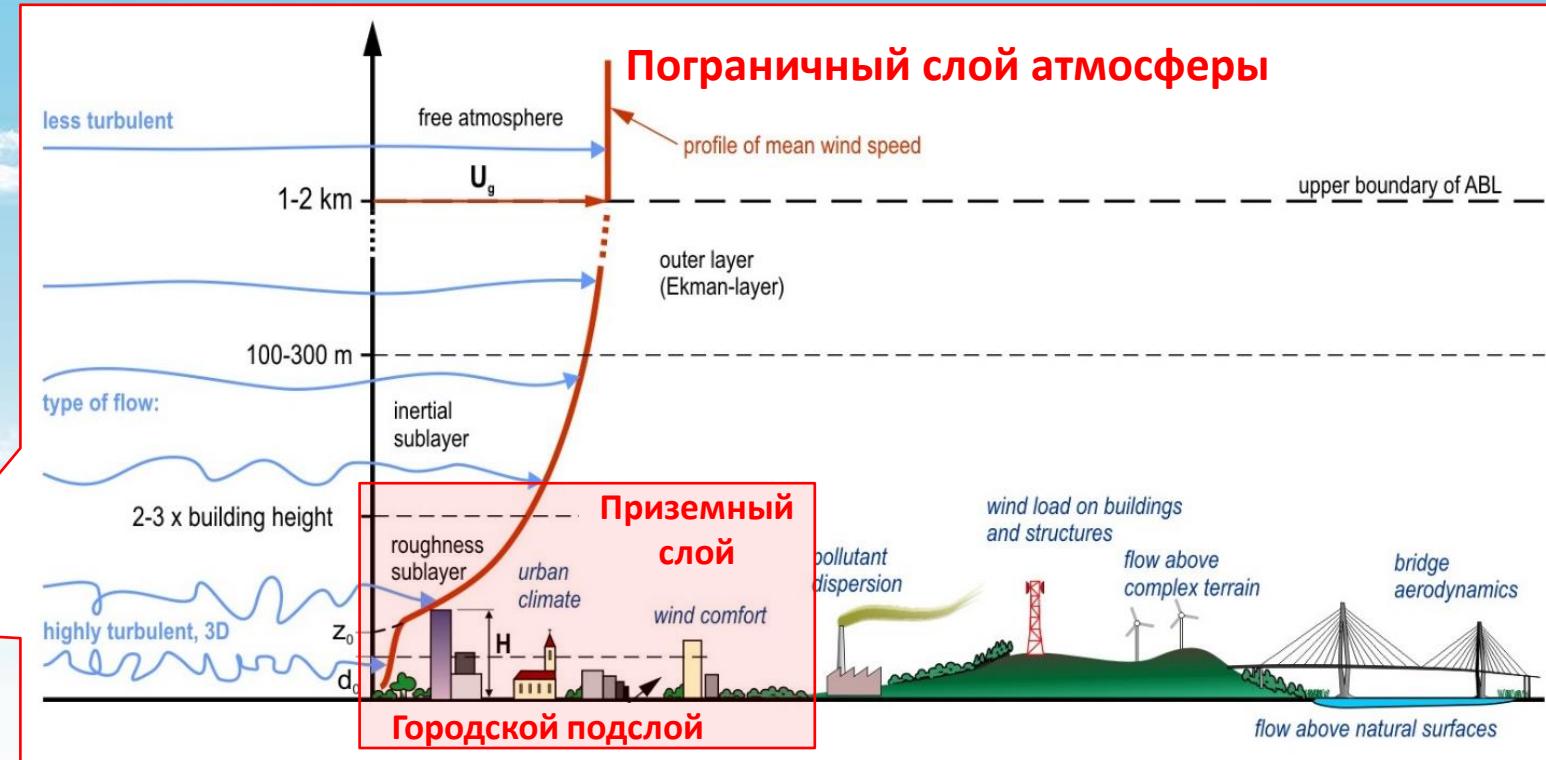
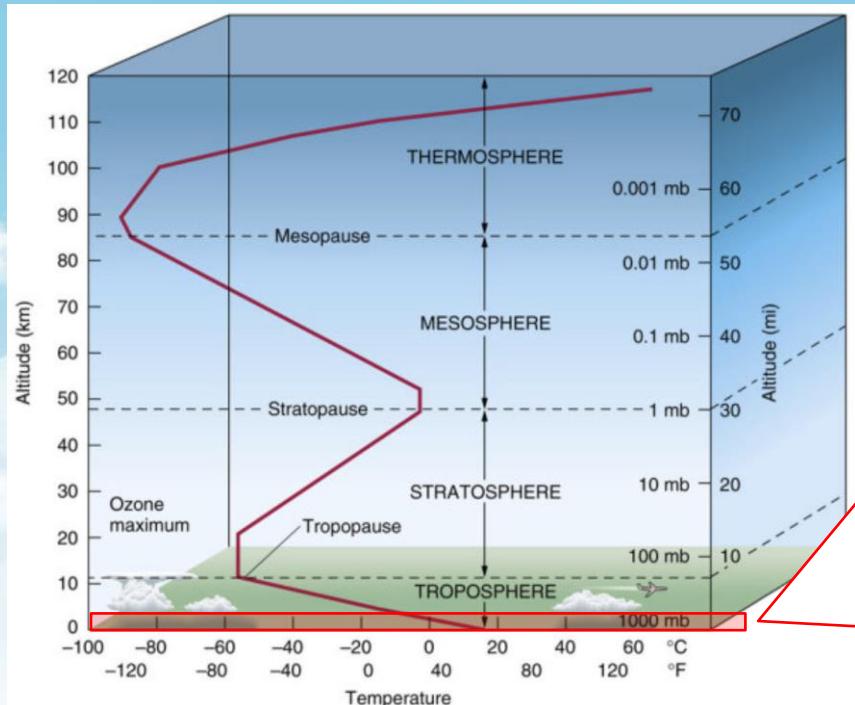
- Состав атмосферы
 - Распределение суши и океана
 - Рельеф
- ...



- Особенности подстилающей поверхности
- Антропогенная деятельность

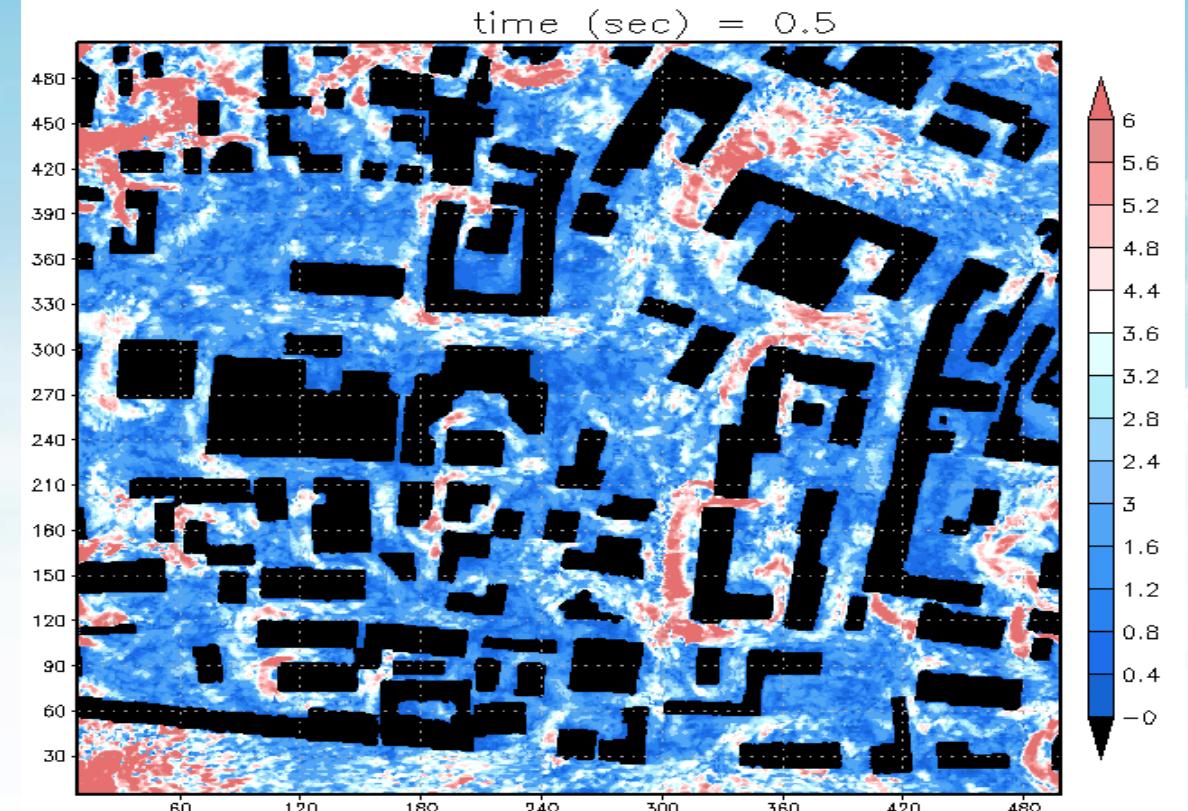
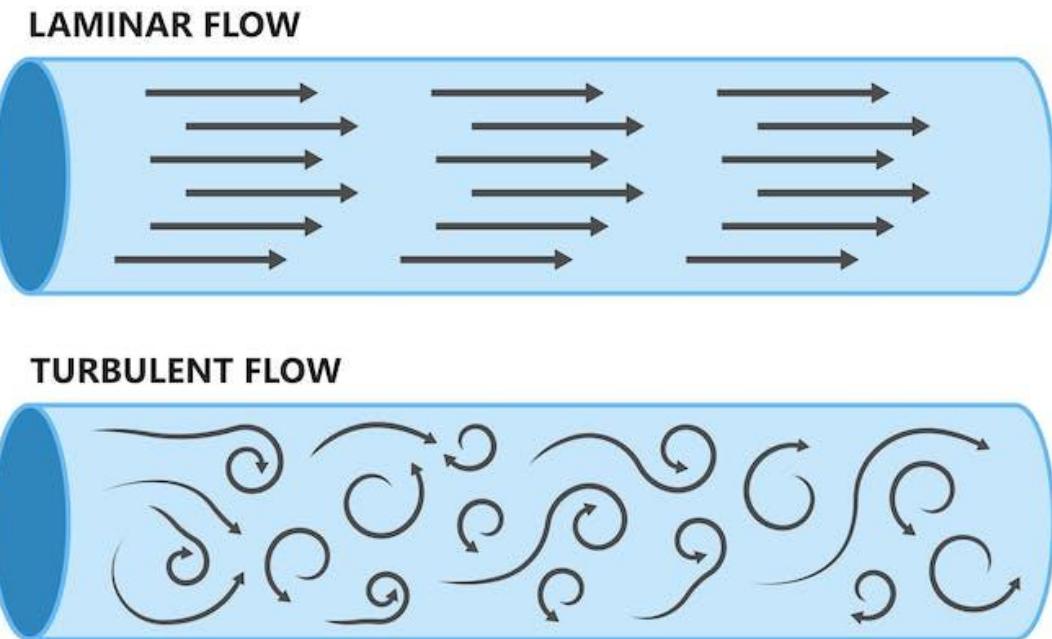


Строение атмосферы



- **Атмосфера** – газовая оболочка Земли
- **Тропосфера** (8-12 км) – нижняя часть атмосферы, в которой температура понижается с высотой.
- **Пограничный слой атмосферы** (до 3 км) – нижний слой атмосферы, свойства которого в значительной степени определяются термическим и динамическим воздействием поверхности. Часто турбулентный. Выражен суточный ход.

Турбулентность в атмосфере



Турбулентность в городской застройке (район м. Третьяковская)

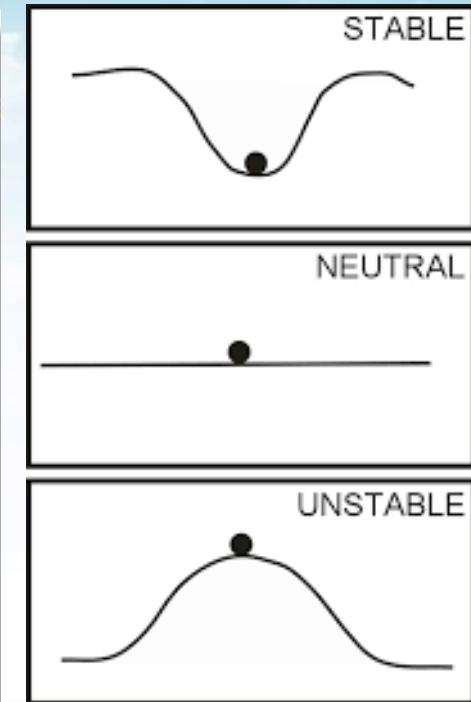
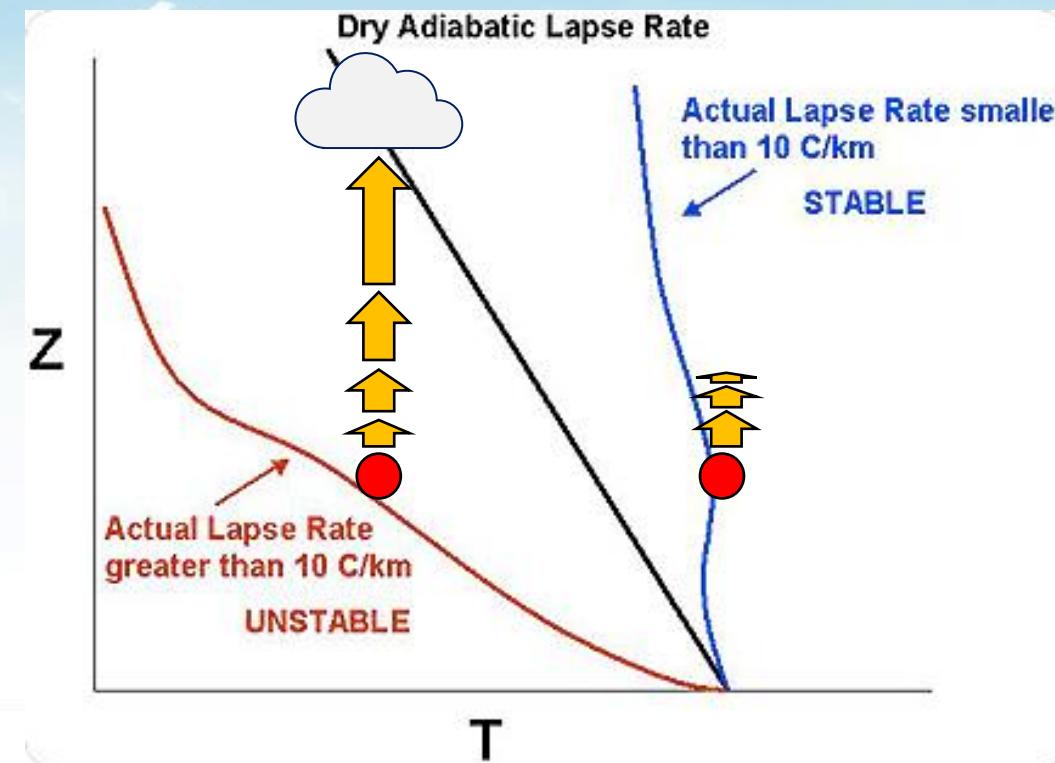
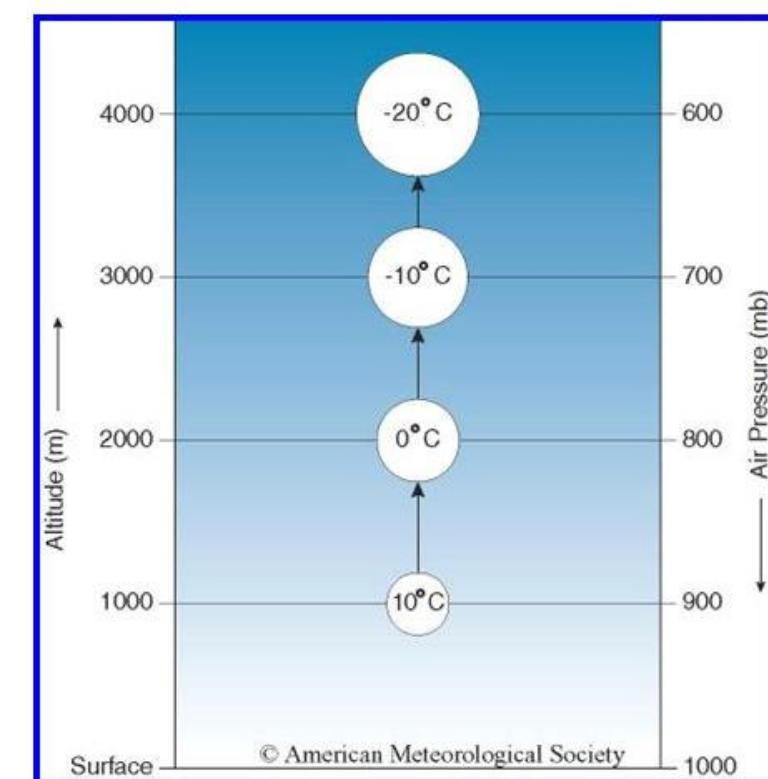
Устойчивость атмосферы

Уравнение состояния атмосферы

$$p = \rho R T$$

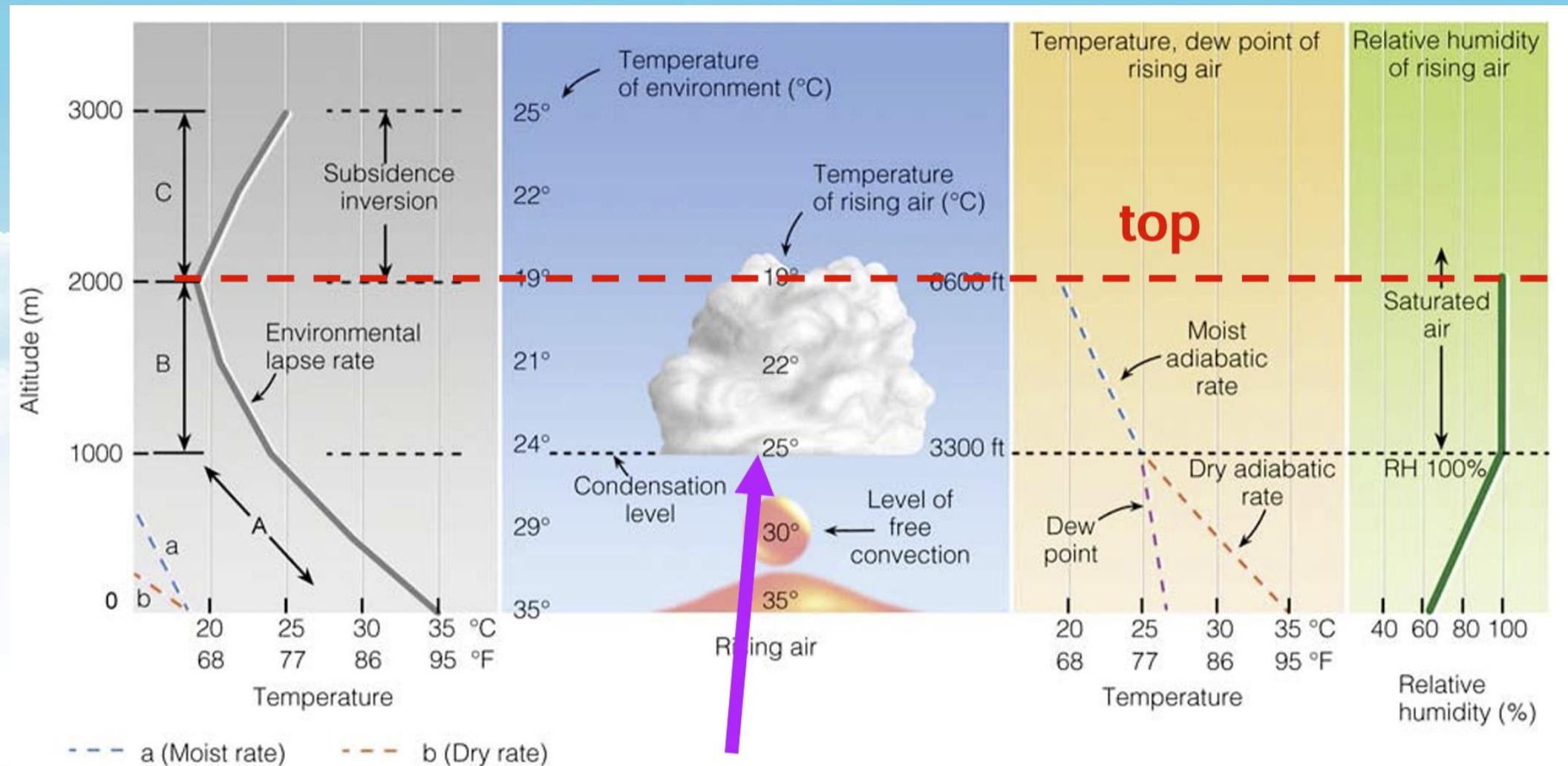
Сухоадиабатический градиент

$$\gamma_a = -\frac{dT_i}{dz} = \frac{g}{c_p} = \frac{0,98 \text{ } ^\circ C}{100m} \approx 1 \text{ } ^\circ C / 100m$$



© 2002 Kendall/Hunt Publishing

Атмосферная конвекция

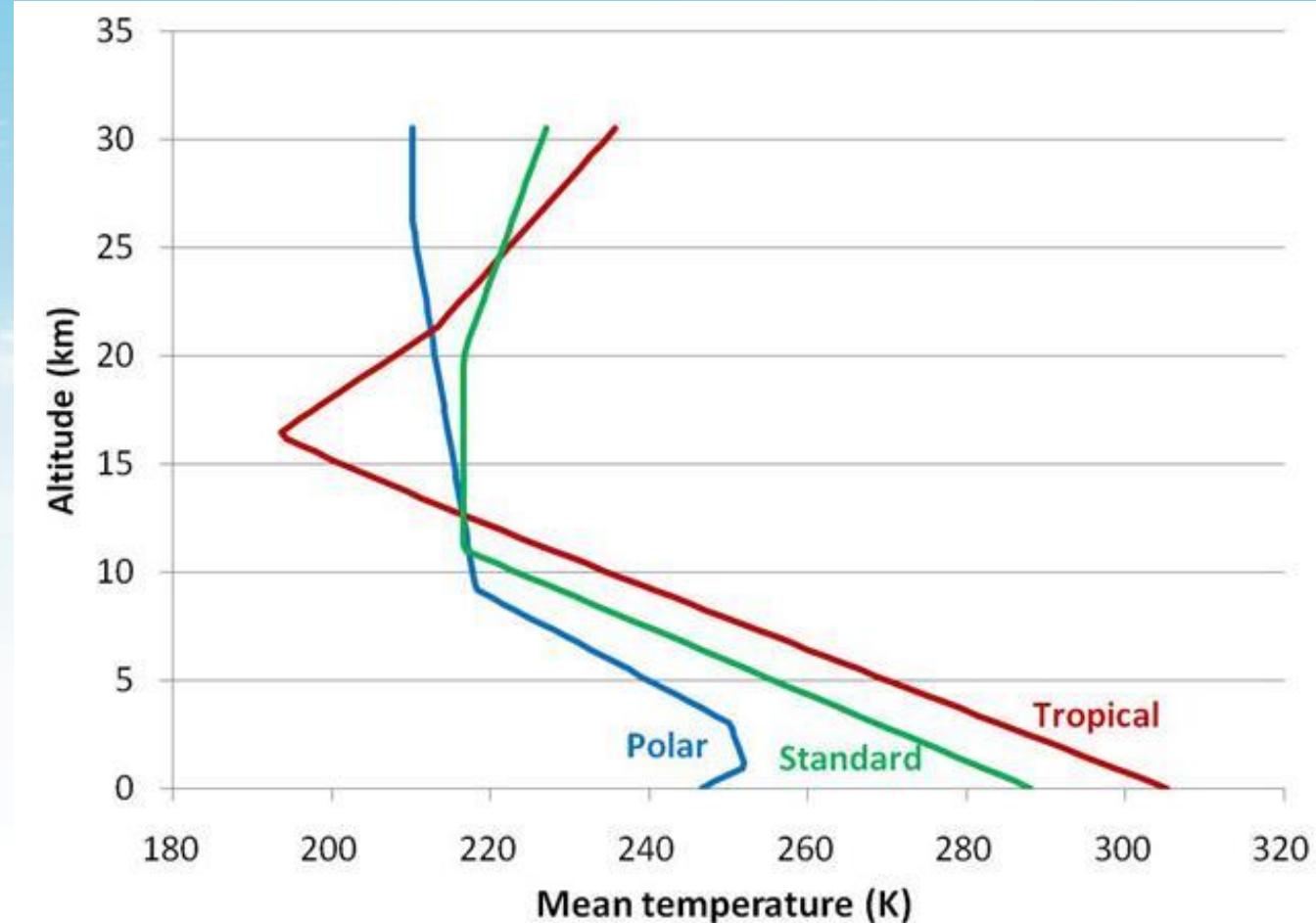


Стратификация атмосферы

- Вертикальный градиент температуры
 - изменение температуры воздуха с высотой, в тропосфере в среднем составляет 0.6°C на 100 м
- Инверсия температуры - повышение температуры воздуха с высотой в некотором слое атмосферы, вместо обычного её убывания.

Виды инверсий:

- Фронтальные
- Радиационные
- Инверсии оседания

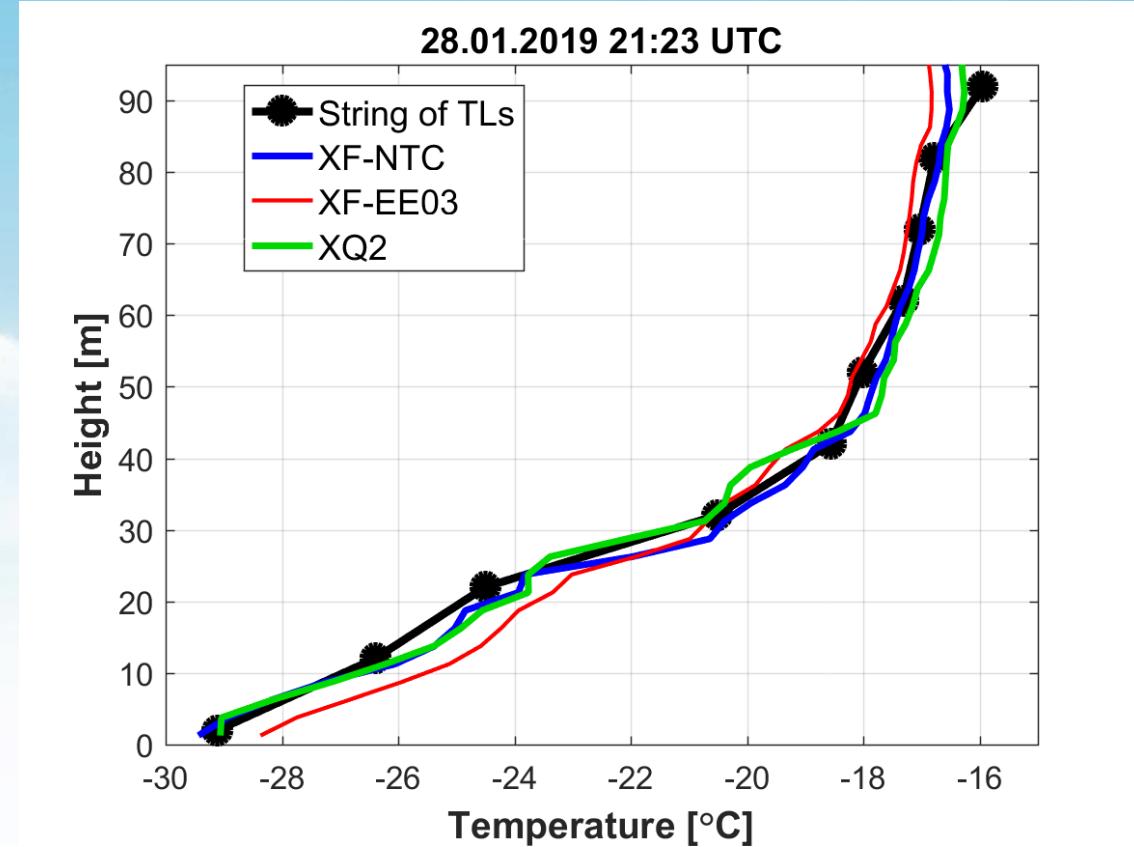


Стратификация атмосферы

- Вертикальный градиент температуры — изменение температуры воздуха с высотой, в тропосфере в среднем составляет 0.6°C на 100 м
- Инверсия температуры - повышение температуры воздуха с высотой в некотором слое атмосферы, вместо обычного её убывания.

Виды инверсий:

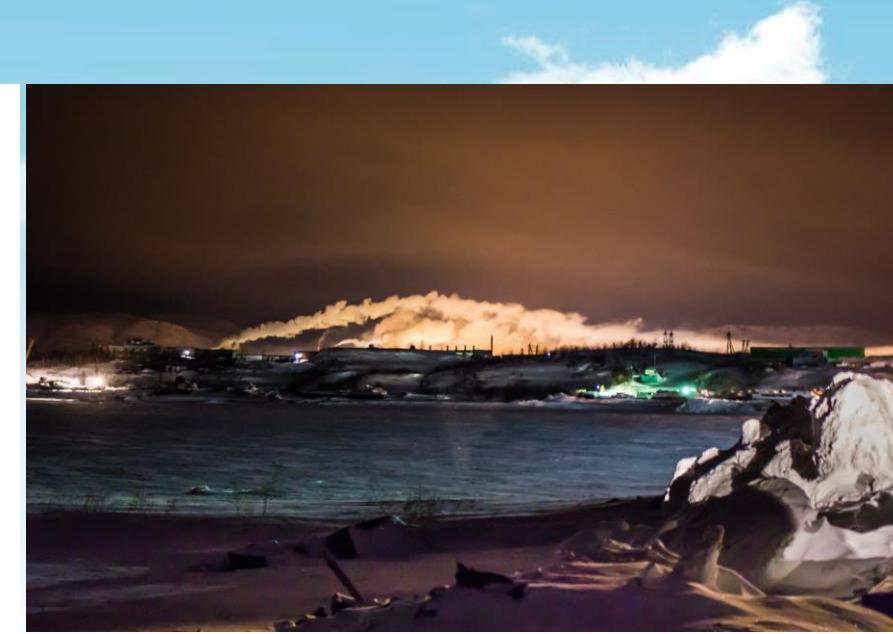
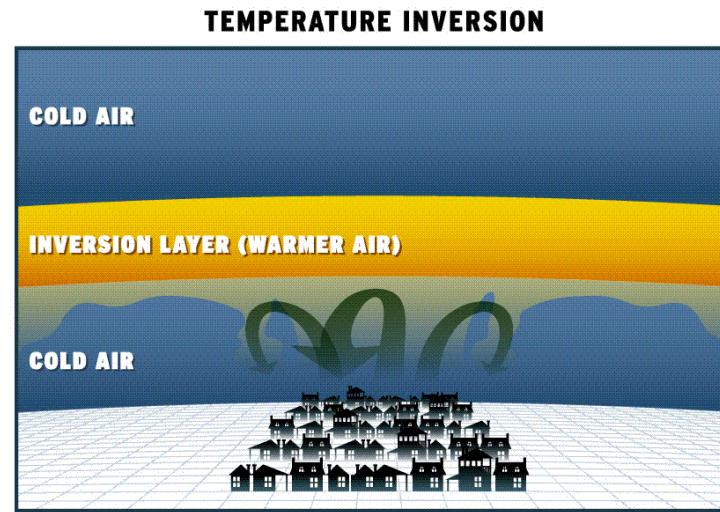
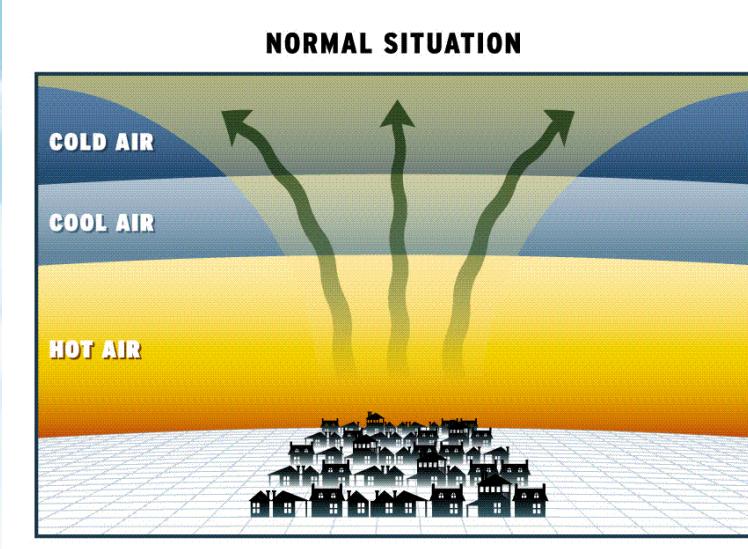
- Фронтальные
- Радиационные
- Инверсии оседания



Пример зимней инверсии в окрестностях г. Апатиты

Стратификация атмосферы

Почему она особо актуально для городов?



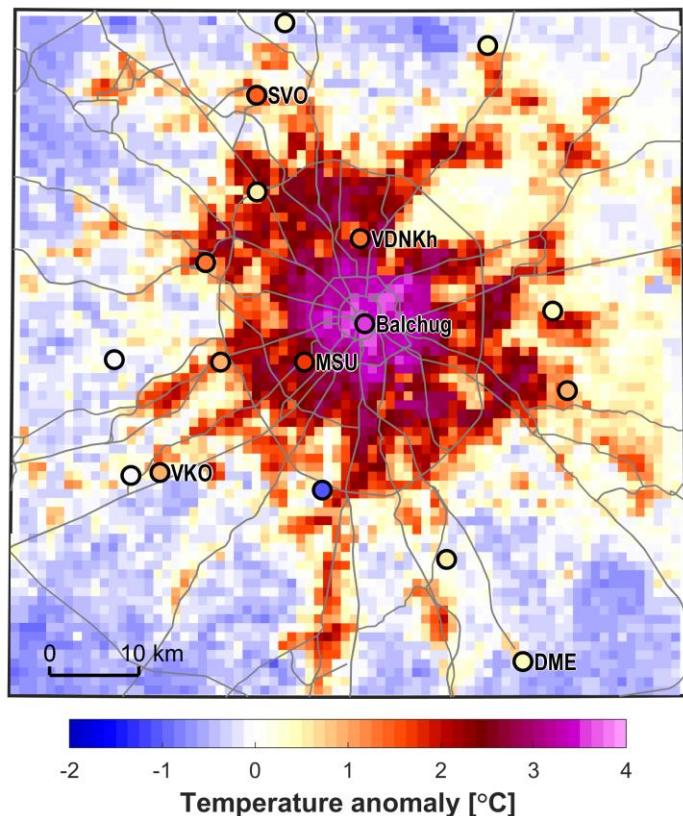
Инверсия над Норильском

Температурные инверсии препятствуют вертикальным перемещениям воздуха и содействуют образованию застойных зон, в которых накапливаются загрязняющие вещества.

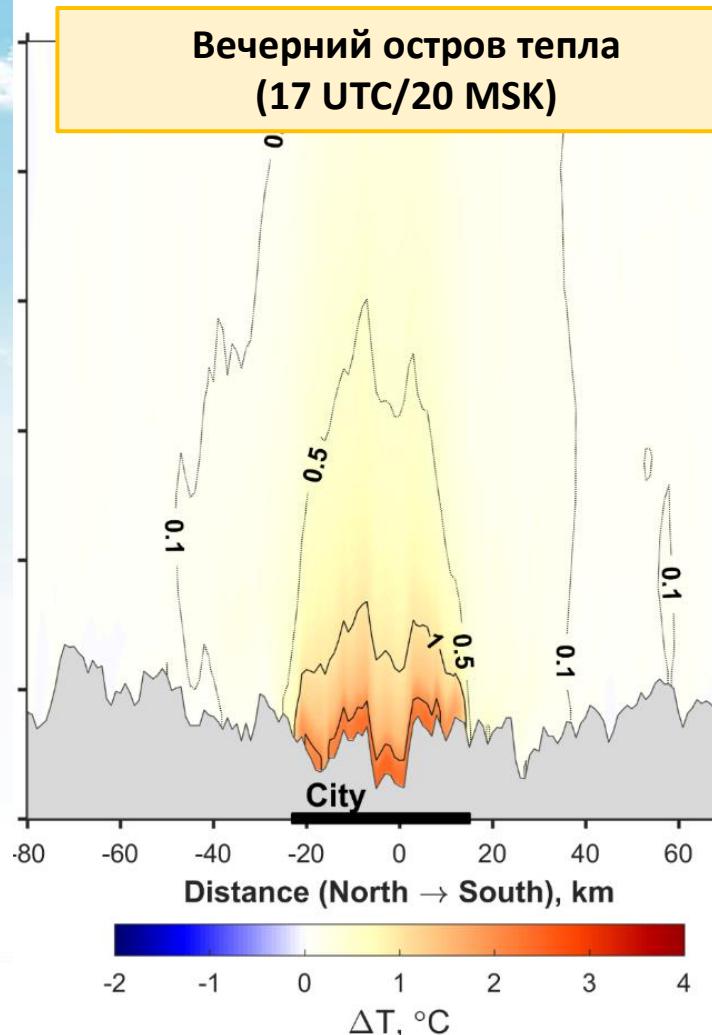
Стратификация атмосферы

Почему она особо актуально для городов?

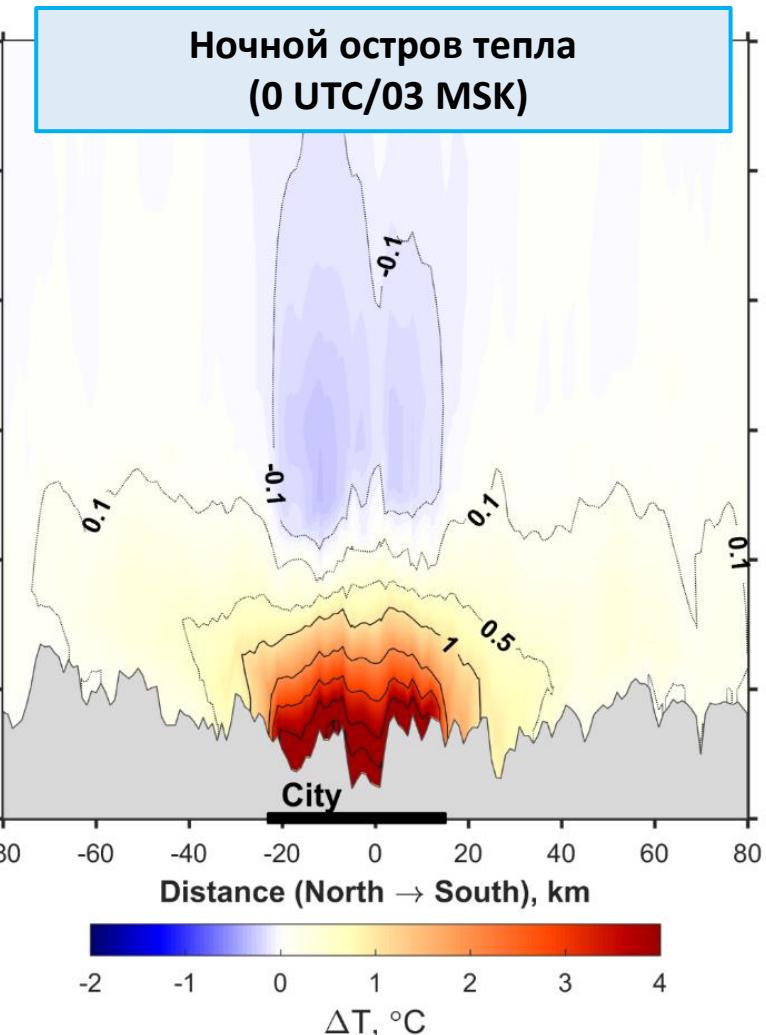
Остров тепла Москвы по данным моделирования (Varentsov et al., 2018)



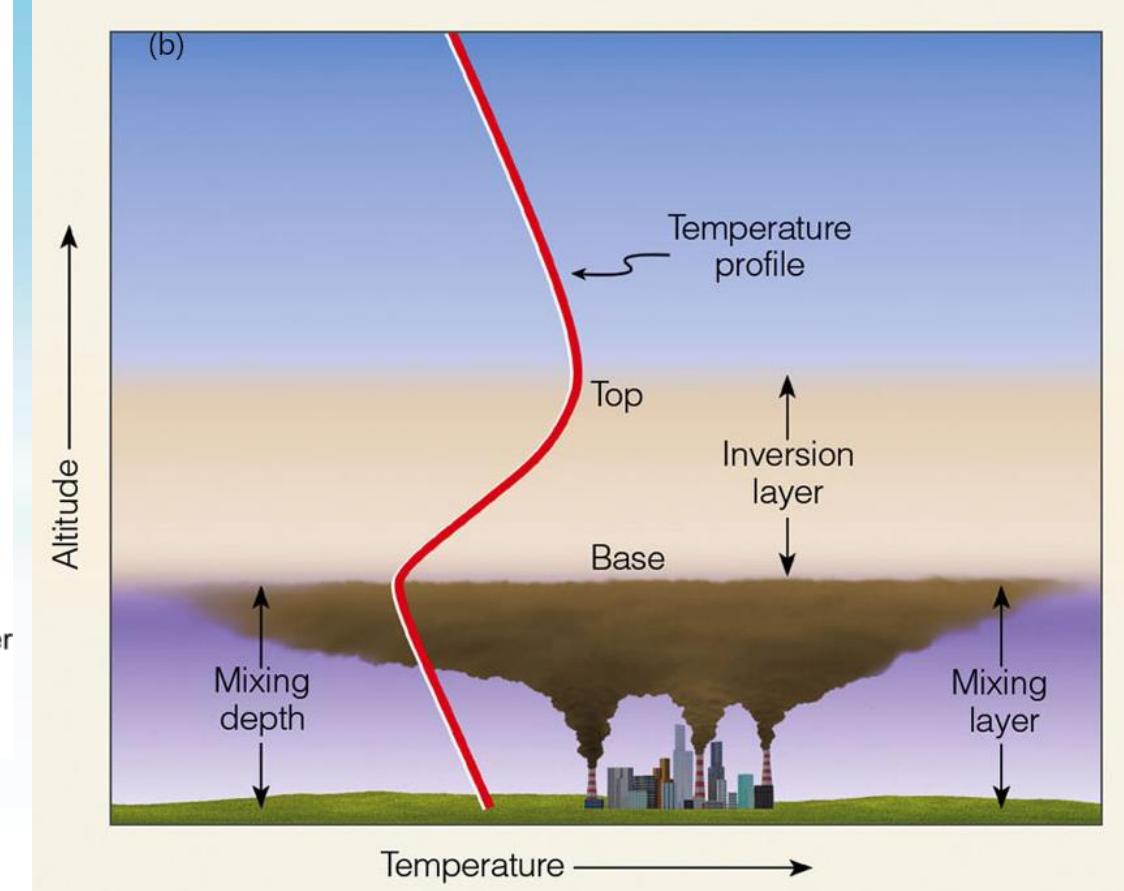
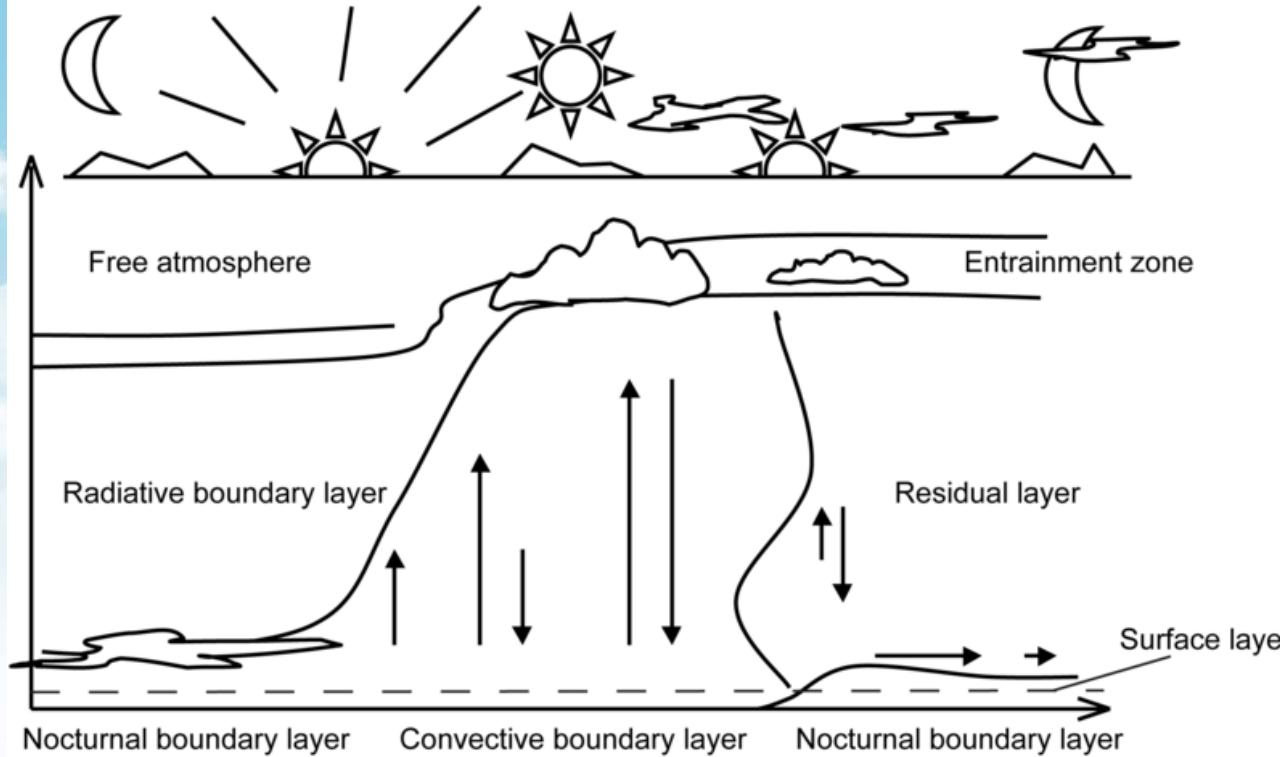
Вечерний остров тепла
(17 UTC/20 MSK)



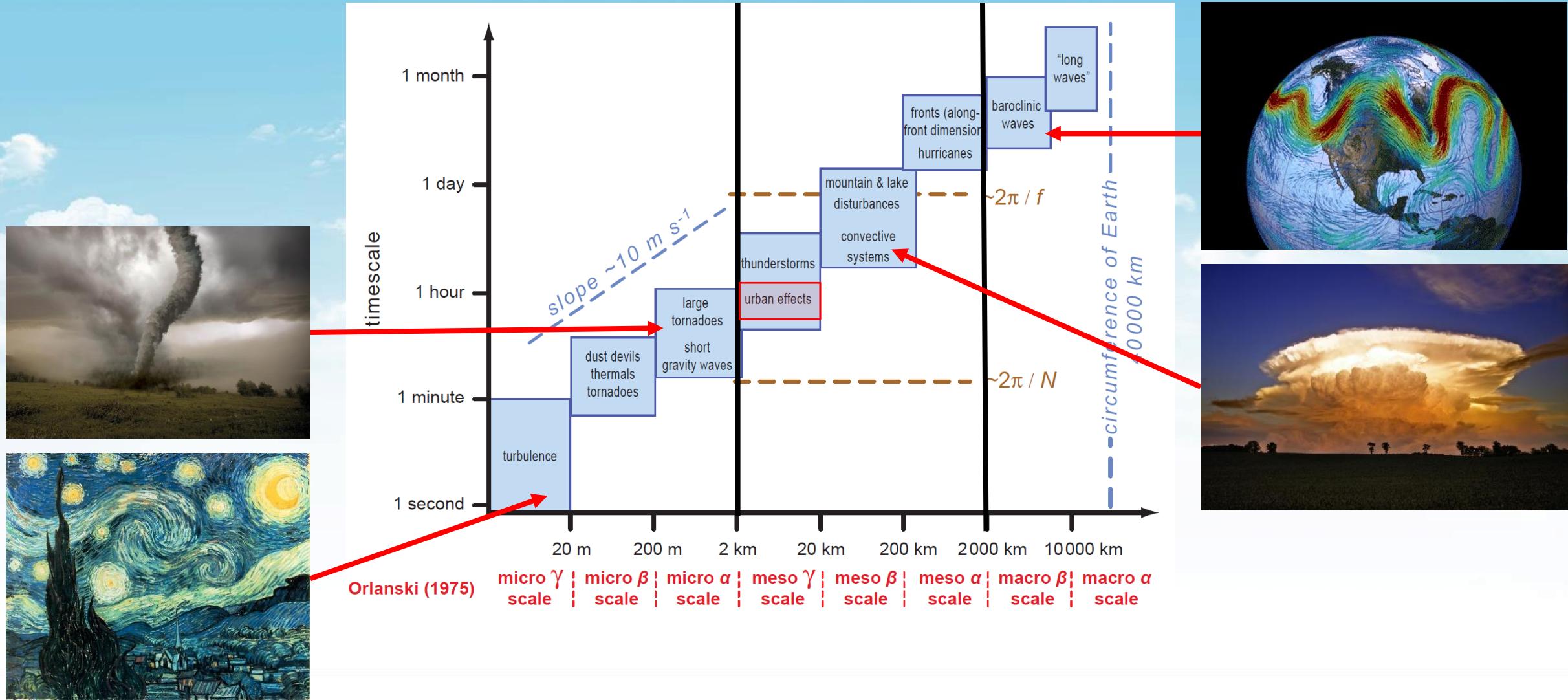
Ночной остров тепла
(0 UTC/03 MSK)



Стратификация в пограничном слое

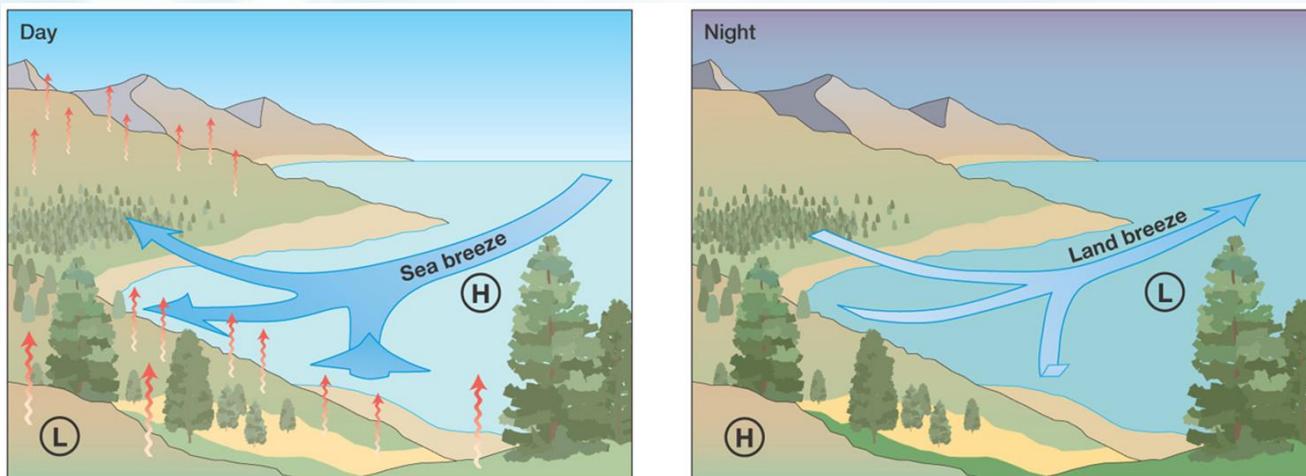


Масштабы атмосферных процессов

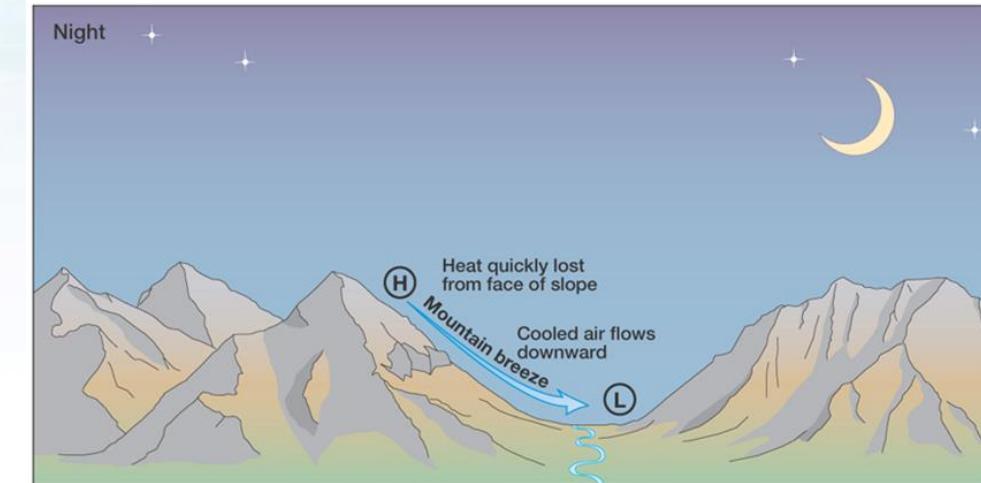
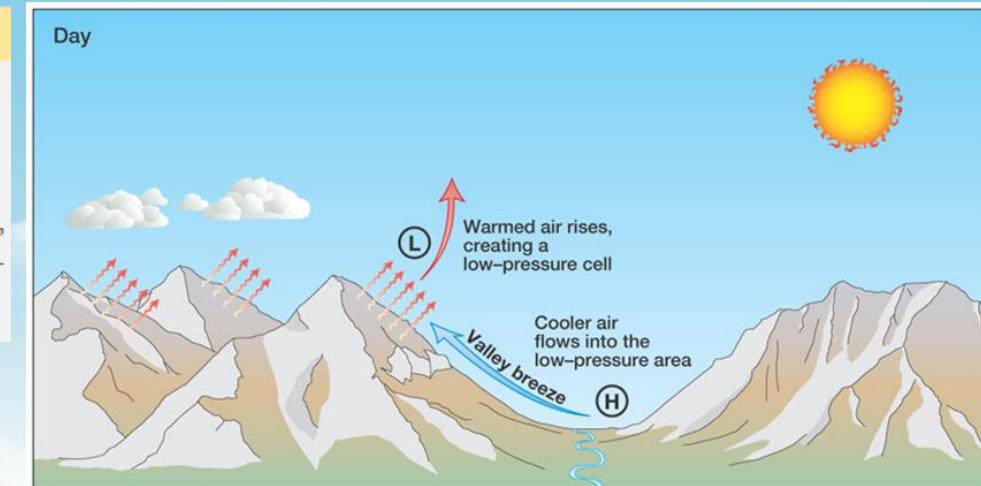


Местные климатические особенности

Характеристика	Макроклимат	Мезоклимат	Микроклимат	Наноклимат
Горизонтальный масштаб	> 100 км	10-100 км	< 10км	
Вертикальный масштаб	> 1000 м	200-1000 м	100-200м	
Особенности рельефа	не учитываются	Горные системы, побережья морей, долины больших рек	Отдельные участки горного рельефа, отдельные холмы, побережья небольших рек, прудов, озёр	Бугры, кочки, борозды и т.д.

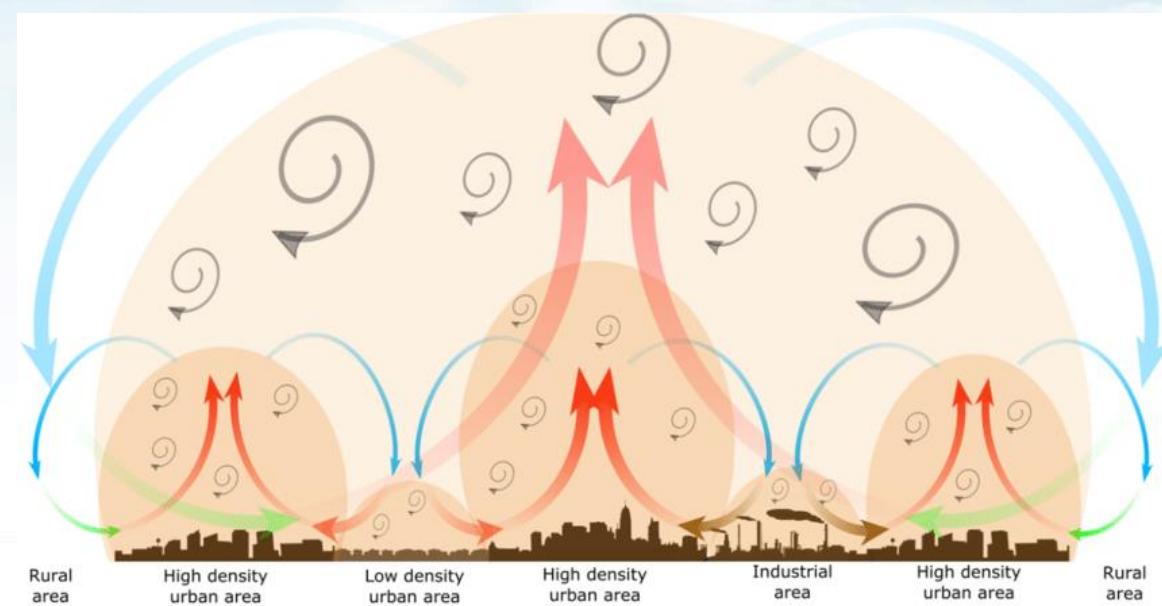
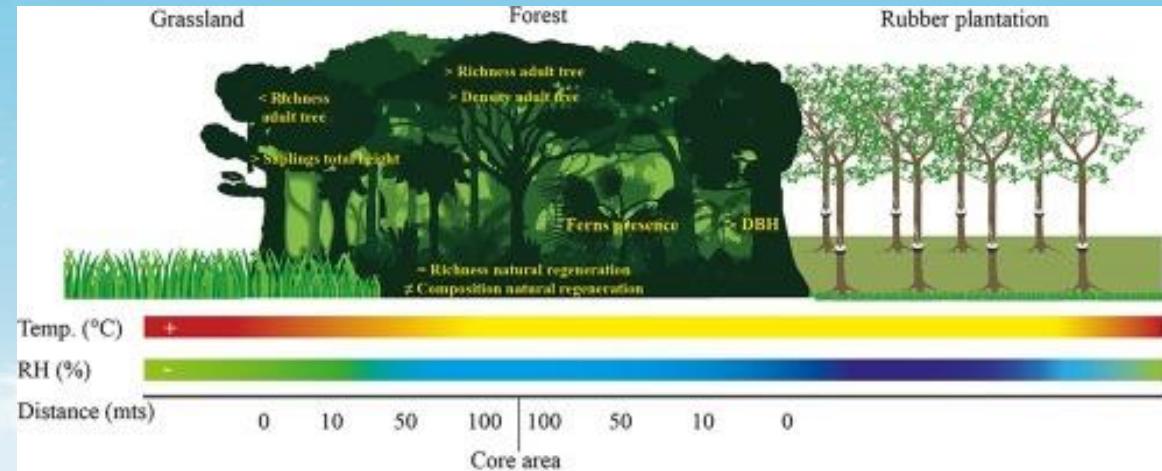
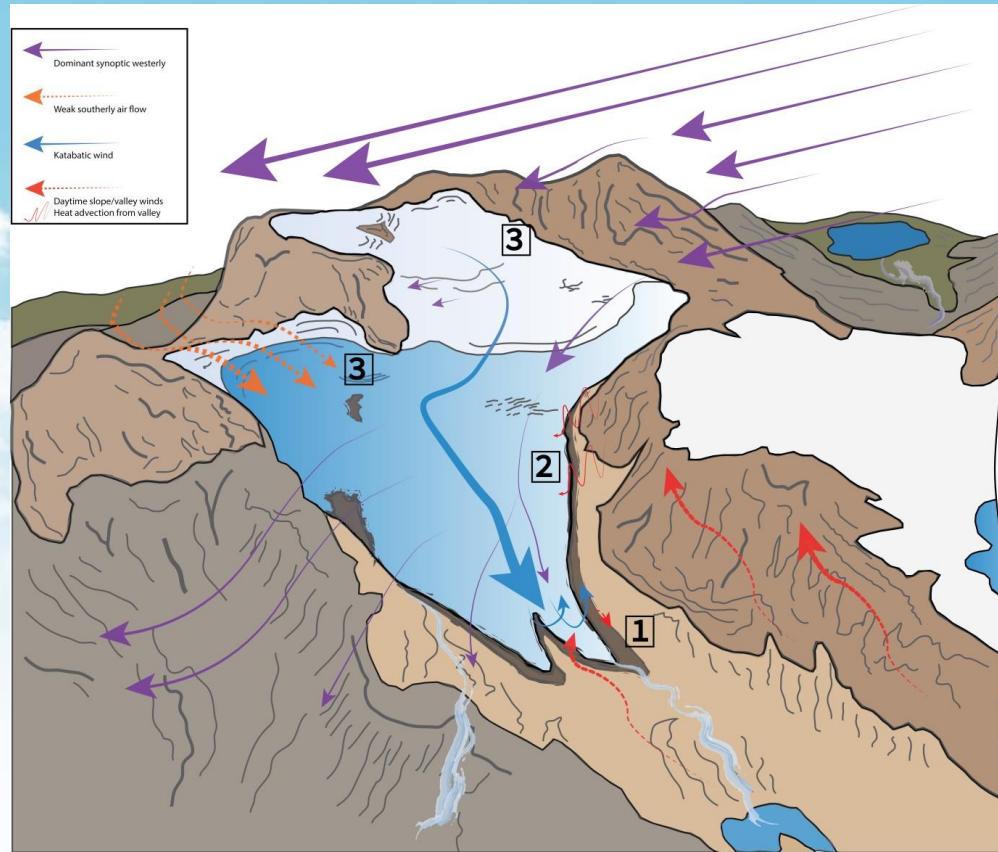


Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



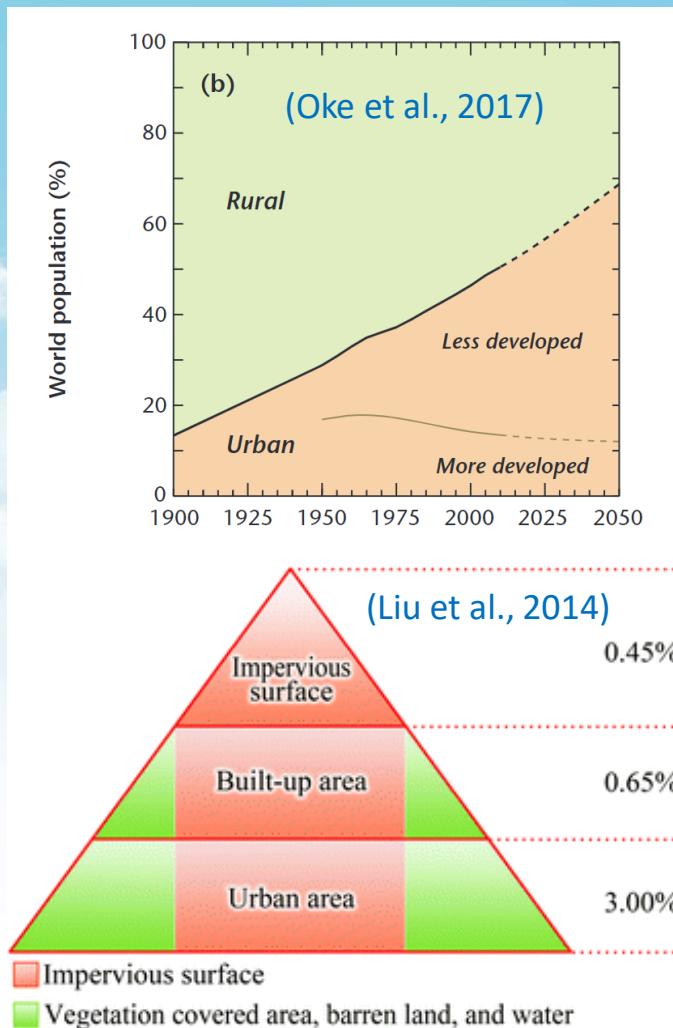
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Местные климатические особенности



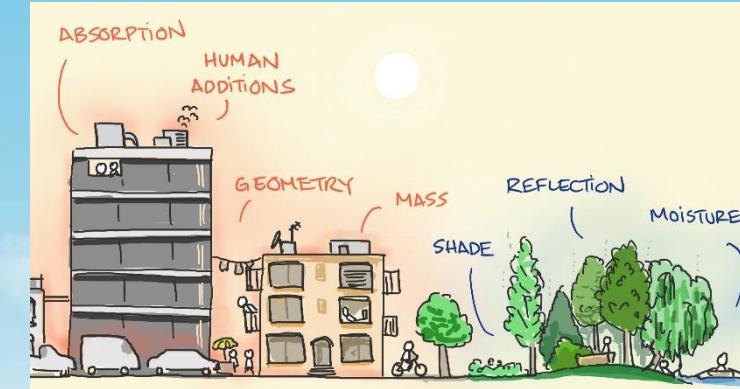
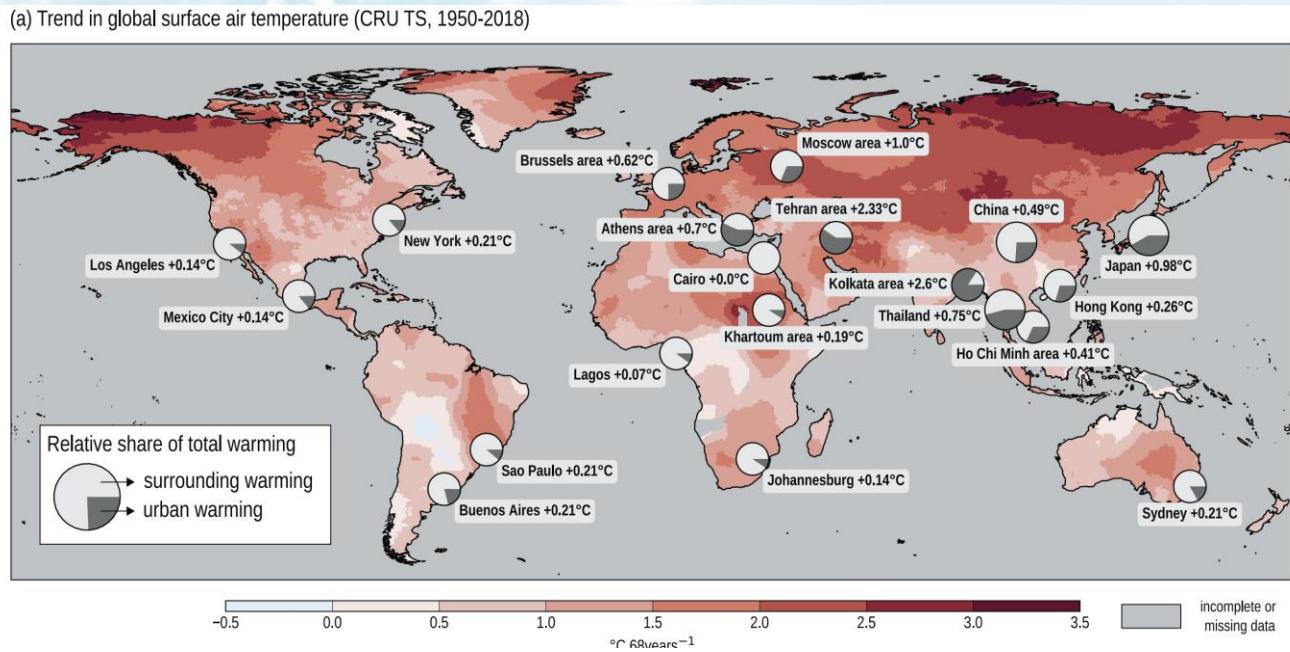
Введение в городскую метеорологию

Актуальность



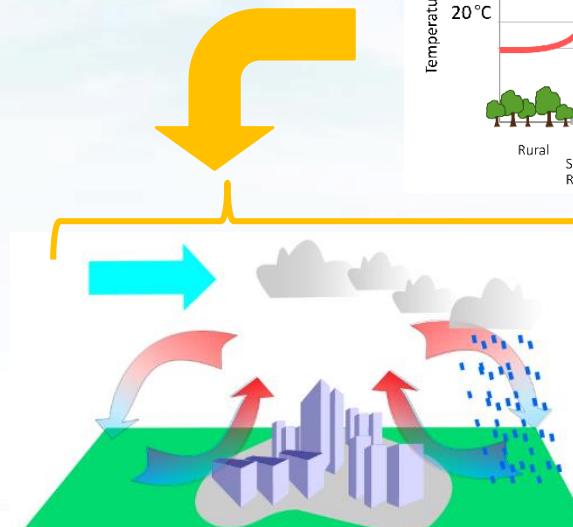
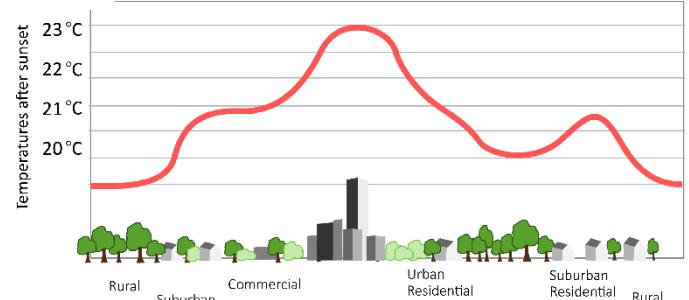
Актуальность

- Города особо уязвимы к погодно-климатическим экстремумам
- Города сами по себе влияют на атмосферные процессы и местный климат за счет изменения свойств подстилающей поверхности и антропогенных эмиссий
- Города являются «горячими точками» глобального потепления (IPCC AR6, 2021)



Особенности подстилающей поверхности

Эффект городского острова тепла

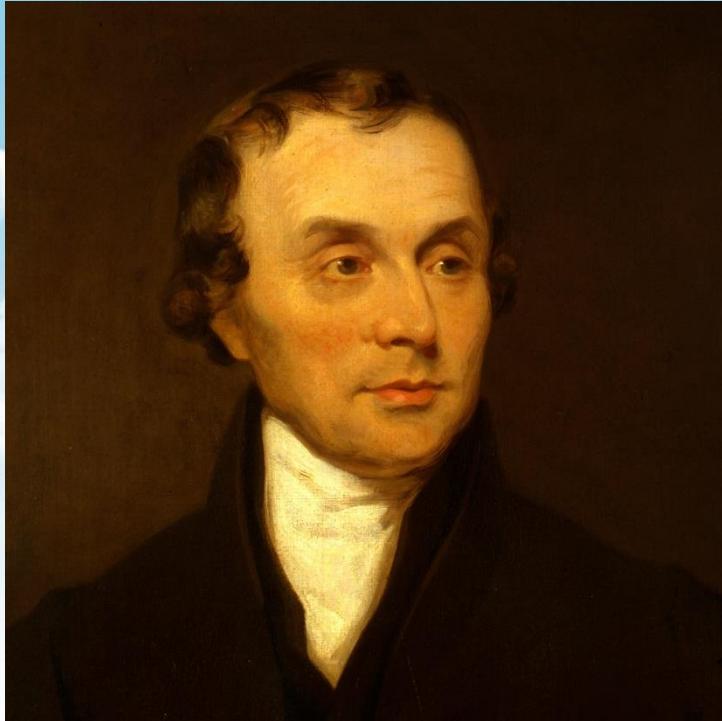


Влияние на облачность, осадки, опасные явления погоды

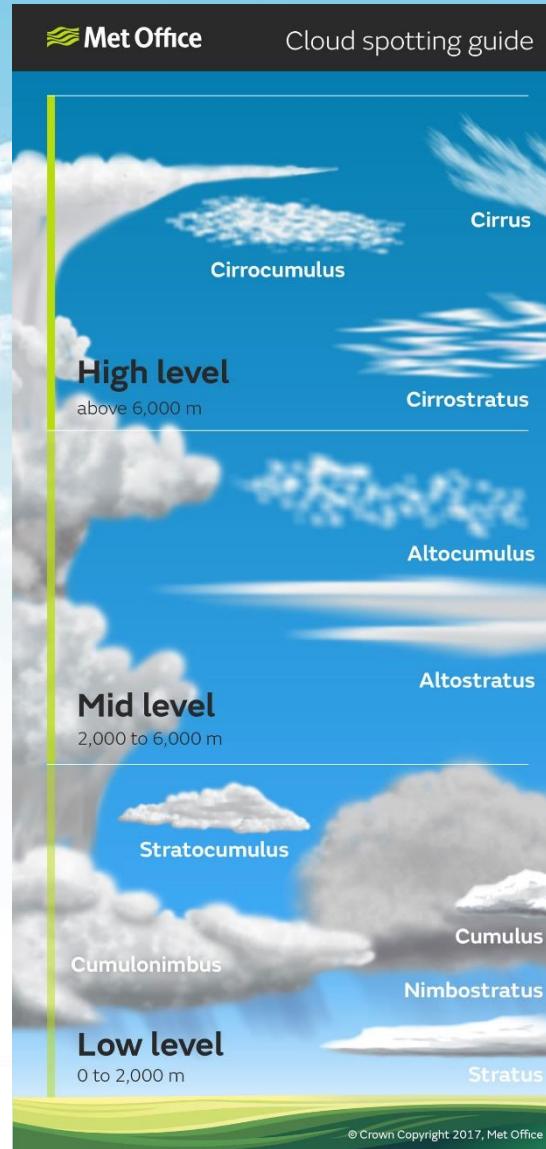


Влияние на термический комфорт населения

Немного истории



Luke Howard (1772-1864)



The
CLIMATE OF LONDON
DEDUCED FROM
Meteorological Observations,
MADE IN THE METROPOLIS,
AND AT
VARIOUS PLACES AROUND IT.

BY LUKE HOWARD, GENT.

CITIZEN OF LONDON; HONORARY CITIZEN OF MAGDEBURG; FELLOW
OF THE ROYAL SOCIETY, AND HONORARY ASSOCIATE OF THE
SOCIETIES OF ARTS OF HAMBURGH AND LEIPSIC.

IN THREE VOLUMES.

A SECOND, MUCH ENLARGED AND IMPROVED EDITION
IN WHICH THE
OBSERVATIONS ARE CONTINUED TO THE YEAR MDCCXXXV
ILLUSTRATED BY ENGRAVINGS ON WOOD AND COPPER.

Sic vos non vobis fertis oratra boves!

VOL. I.

Containing an Introduction, with the necessary Descriptions of Instruments, and Definitions of
terms used;-A Series of Dissertations on the several parts of the Subject;- A Summary of the
Phenomena of the Climate;- General Tables of Results, and a copious Index.

LONDON:
HARVEY AND DARTON, GRACECHURCH-STREET;
J. AND A. ARCH, CORNHILL; LONGMAN AND CO. PATERNOSTER ROW;
HATCHARD AND SON, PICCADILLY; S. HIGHLEY, FLEET-STREET;
R. HUNTER, ST. PAUL'S CHURCH-YARD.

1833.

Средние значения температуры каждого месяца по наблюдениям, продолжавшимся с 1807 по 1816 г.			
Месяц	сельская местность	Лондон	в Лондоне теплее на:
Январь	34,16	36,20	2,04
Февраль	39,78	41,47	1,69
Март	41,51	42,77	1,26
Апрель	46,89	47,69	0,80
Май	55,79	56,28	0,49
Июнь	58,66	59,91	1,25
Июль	62,40	63,41	1,01
Август	61,35	62,61	1,26
Сентябрь	56,22	58,45	2,13
Октябрь	50,24	52,23	1,99
Ноябрь	40,93	43,08	2,15
Декабрь	37,66	39,40	1,74

Немного истории

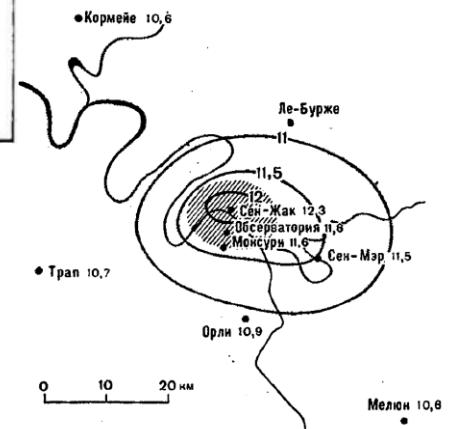
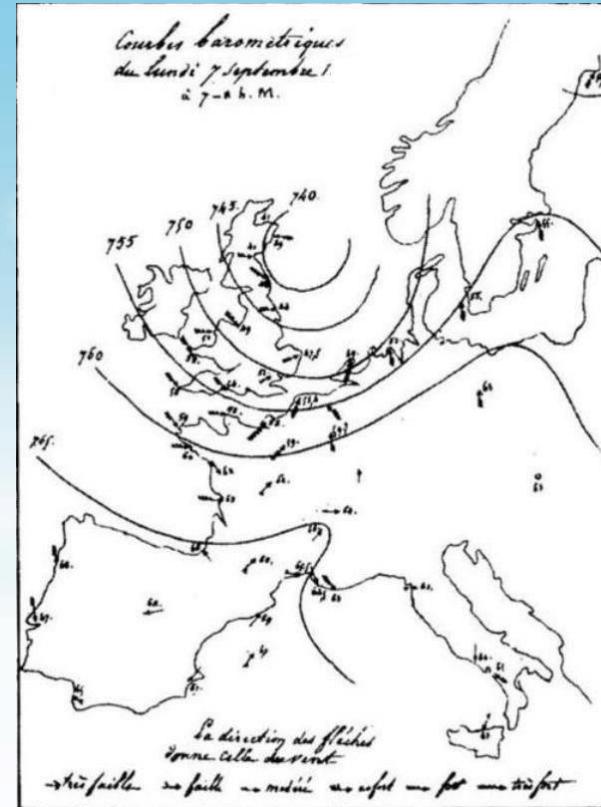
Появление метеорологической сети, эпизодические пионерские исследования (до 1930х гг.)

Систематические исследования описательные местного климата, т.ч. городского (1930-1965)

Обобщение работ по городской климатологии, исследование физических механизмов, масштабные измерительные эксперименты, появление численных моделей (1965-2000)

Современный этап (начиная с 2000х)

Учет городов в моделях прогноза погоды и климат, совершенствование методов их описания, дистанционное зондирование, прикладные исследования и сервисы



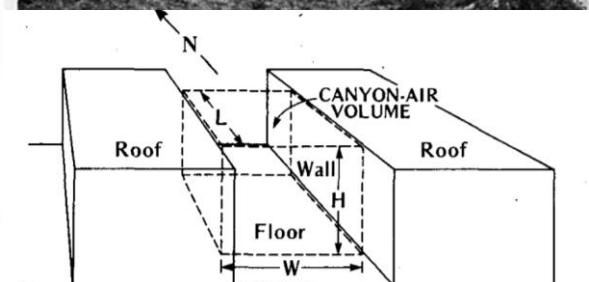
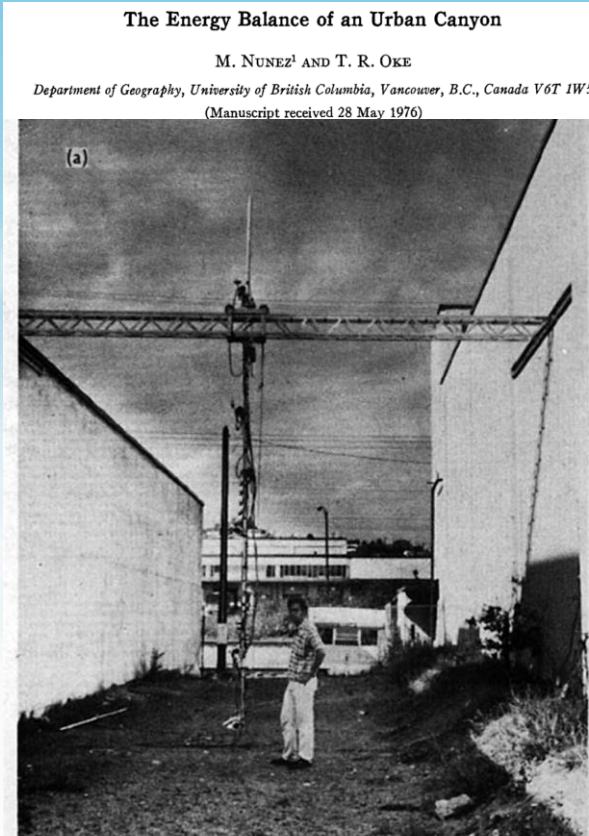
Немного истории

Появление метеорологической сети, эпизодические пионерские исследования (до 1930х гг.)

Систематические исследования описательные местного климата, т.ч. городского (1930-1965)

Обобщение работ по городской климатологии, исследование физических механизмов, масштабные измерительные эксперименты, появление численных моделей (1965-2000)

Современный этап (начиная с 2000х)
Учет городов в моделях прогноза погоды и климат, совершенствование методов их описания, дистанционное зондирование, прикладные исследования и сервисы



The Energy Balance of an Urban Canyon
M. NUNEZ¹ AND T. R. OKE
Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada V6T 1W5
(Manuscript received 28 May 1976)

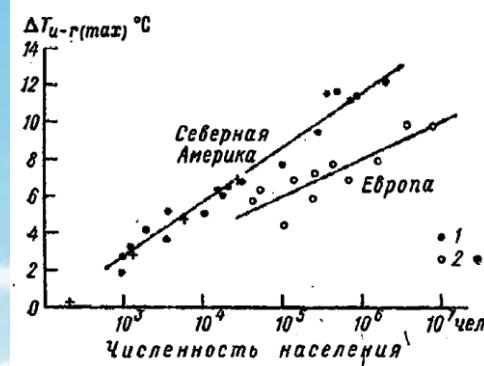


Рис. 5.11. Зависимость интенсивности максимума городского острова тепла ΔT_{u-r} ($^{\circ}\text{C}$) от численности населения. По Оке (Oke, 1979).

1 — города США, 2 — города Европы. Крестиками ограничивается максимальная интенсивность островов тепла в Колумбии (Мэриленд) на начальном и конечном этапах строительства (см. рис. 5.7 и 5.8).

Немного истории

Появление метеорологической сети, эпизодические пионерские исследования (до 1930х гг.)



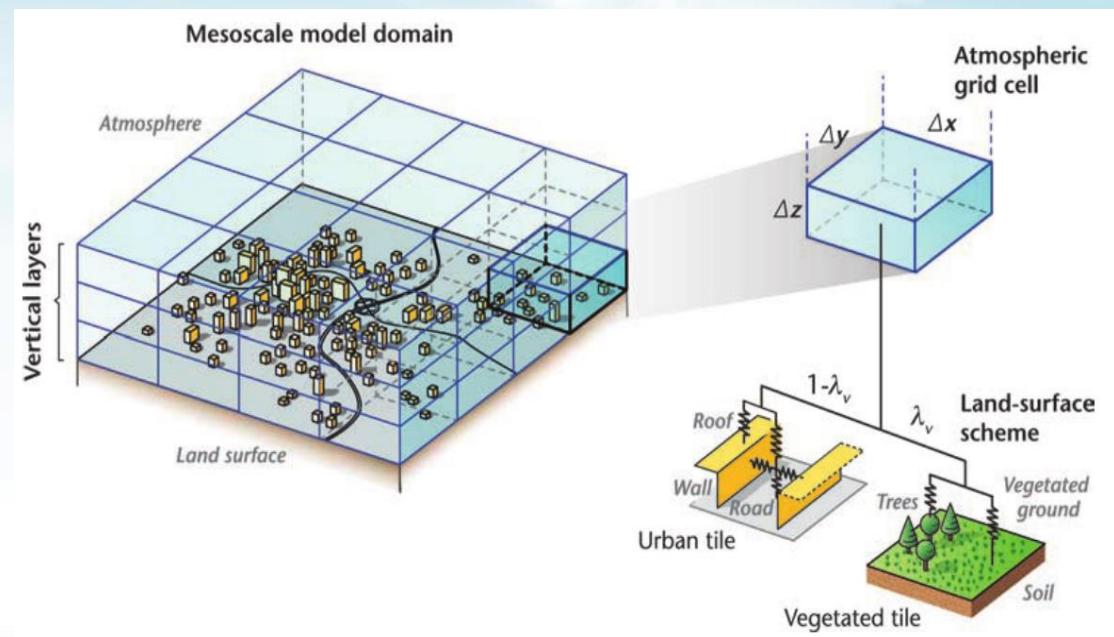
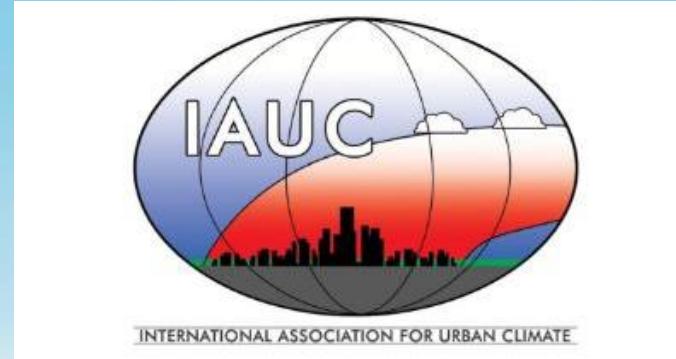
Систематические исследования описательные местного климата, т.ч. городского (1930-1965)



Обобщение работ по городской климатологии, исследование физических механизмов, масштабные измерительные эксперименты, появление численных моделей (1965-2000)



Современный этап (начиная с 2000х)
Учет городов в моделях прогноза погоды и климат, совершенствование методов их описания, дистанционное зондирование, прикладные исследования и сервисы



Немного истории



Немного истории

С. А. САПОЖНИКОВА
доктор географических наук

551.56
€ 19

ПРОВЕРЕННО
1951 г.

МИКРОКЛИМАТ и МЕСТНЫЙ КЛИМАТ

Проверено
1960г.

Допущено Министерством высшего образования СССР
в качестве учебного пособия для гидрометеорологических
институтов и университетов

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ
ЧАСТЬ РАДИОЛОГИЧЕСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД • 1950

В среднем в городе теплее по сравнению с окрестностями более чем на $0,5^{\circ}$.

Выше в городе и абсолютные минимумы. Так, в Москве в среднем за 1910—1926 гг. средний из абсолютных годовых минимумов составлял $-28,0^{\circ}$, а в Петровско-Разумовском $-31,2^{\circ}$. В отдельные годы различие в абсолютных минимумах достигало 6° . В Ленинграде, на Васильевском острове (Главная физическая обсерватория), 25/XII 1892 г. температура спустилась до -34° , а в Лесном до -41° . Несколько меньшие различия минимальных температур приводят А. А. Каминский для Харькова, Воронежа и Пензы, что объясняется меньшей их застройкой. Отмечено, что повреждения растений от заморозков в городе происходит гораздо реже, чем за его пределами.

Совсем с других позиций ведется изучение климата крупных городов в капиталистических странах. Известны исследования климатических особенностей таких крупных городов, как Лондон, Нью-Йорк, Париж, Токио, Рим, Мельбурн, Монреаль и другие. Но результаты достижений микроклиматических исследований применяются не в рабочих кварталах, где сосредоточена основная масса городского населения, а в буржуазных. В этих кварталах проводятся работы по озеленению, создаются парки и скверы, бульвары и газоны, выполняется разреженная застройка с использованием вертикального озеленения и водоемов. В рабочих кварталах застройка ведется с учетом только одного фактора — максимального использования территории для размещения максимального количества людей. Вот почему здесь узкие улицы, полностью отсутствует зелень, а дворы представляют собой глубокие темные колодцы, куда совсем не проникают солнечные лучи.

Щербань М.И. Микроклиматология. 1985

Немного истории

Программа по направлению «метеорология» в китайских университетах конца 1990х годов:

Обязательные предметы: высшая математика, теоретическая механика, гидродинамика, принцип работы и практическое применение компьютеров, языки программирования, динамическая метеорология, принципы синоптической метеорологии, китайская метеорология, статистическое прогнозирование, долгосрочное прогнозирование, математическое прогнозирование.

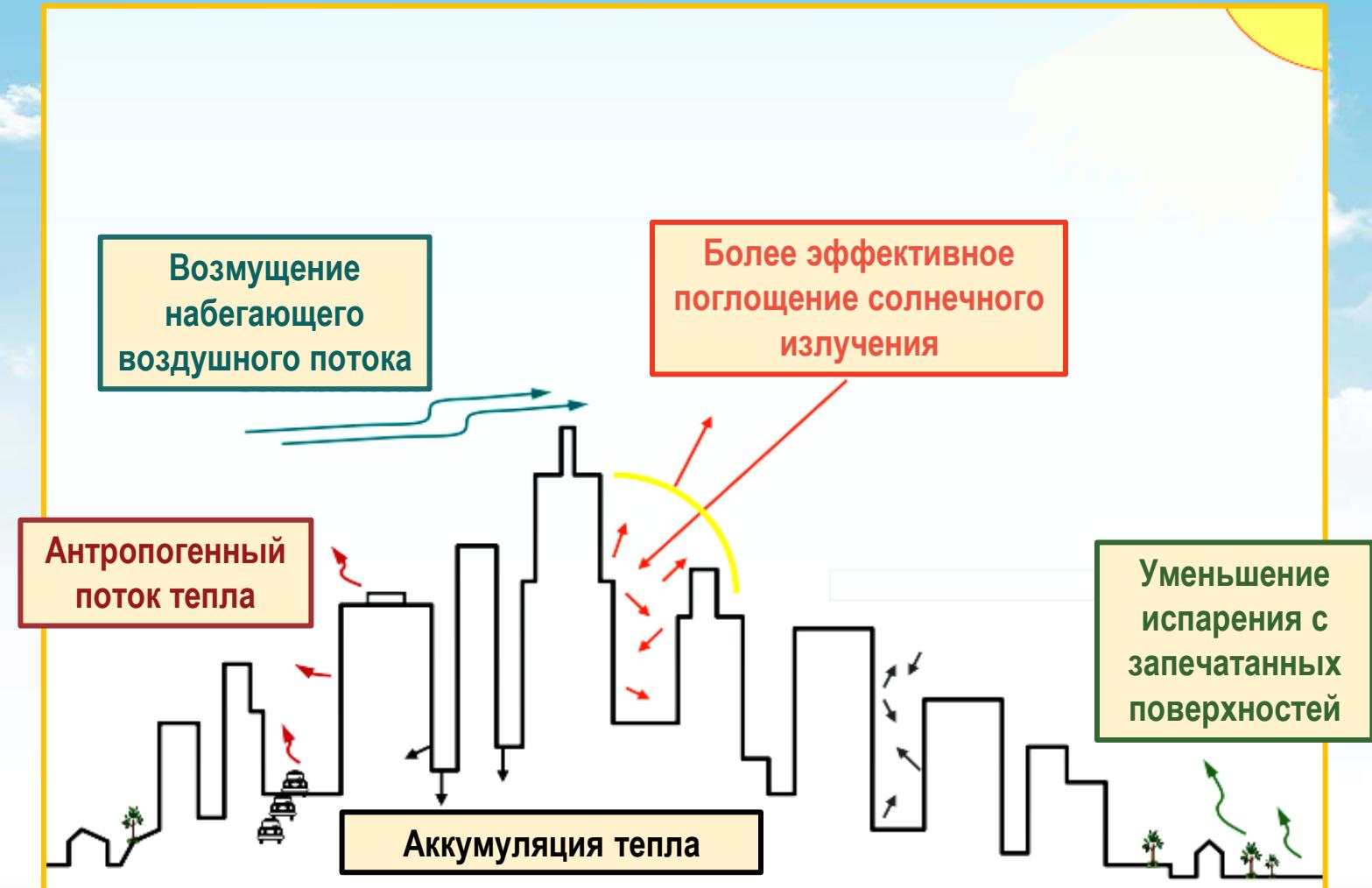
Предметы по желанию: циркуляция атмосферы, метеорологический диагностический анализ, грозы и метеорология среднего уровня, предсказание и предотвращение гроз, тропическая метеорология, климатические изменения и краткосрочное предсказание климата, радиолокационная и спутниковая метеорология, **загрязнение атмосферы и климатология больших городов**, высотная метеорология, взаимодействие атмосферы и Мирового океана.



Физические механизмы

Факторы влияния городов на метеорологические процессы:

- Изменения свойств поверхности
- Эмиссии (тепла, влаги, загрязняющих веществ)



Физические механизмы

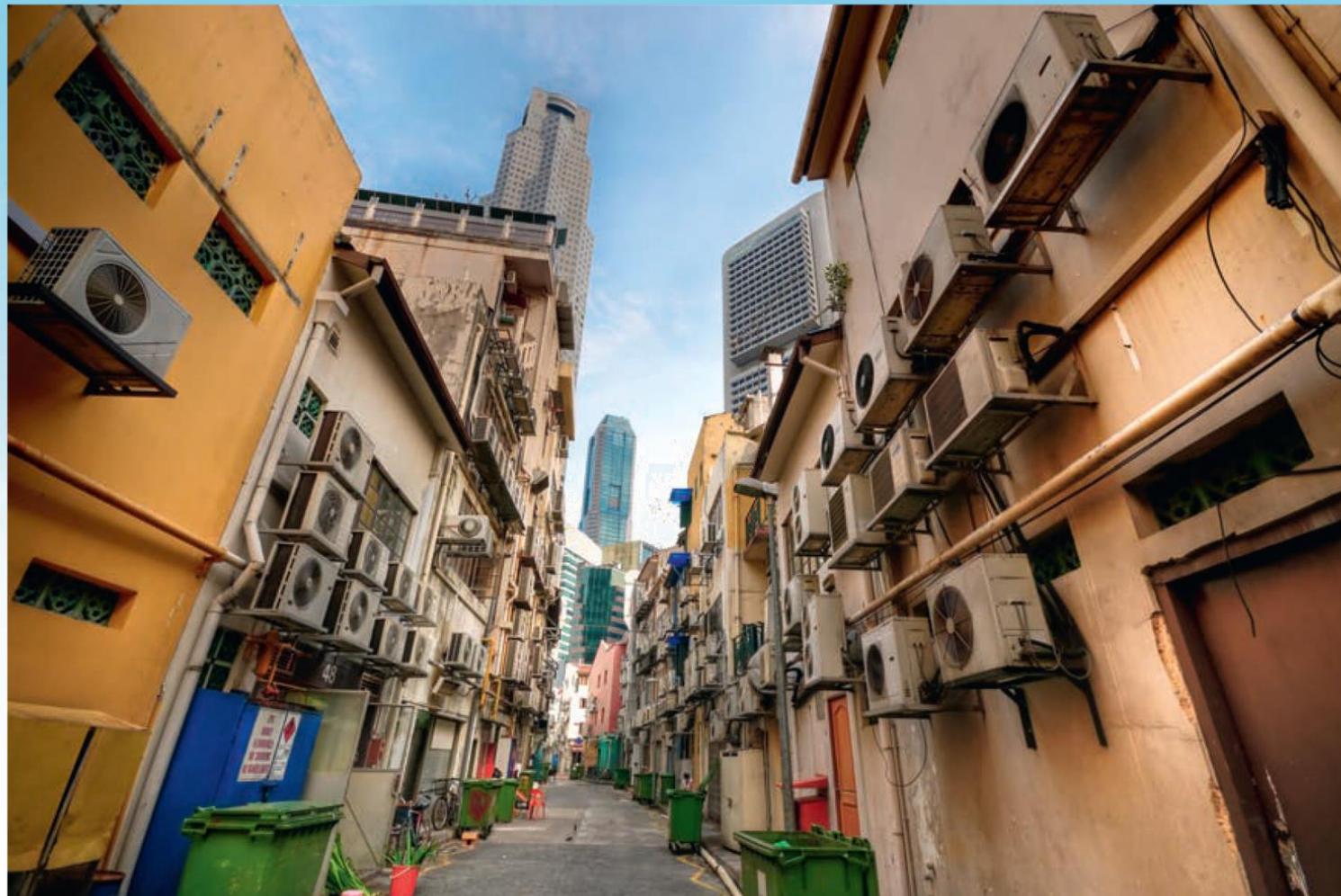
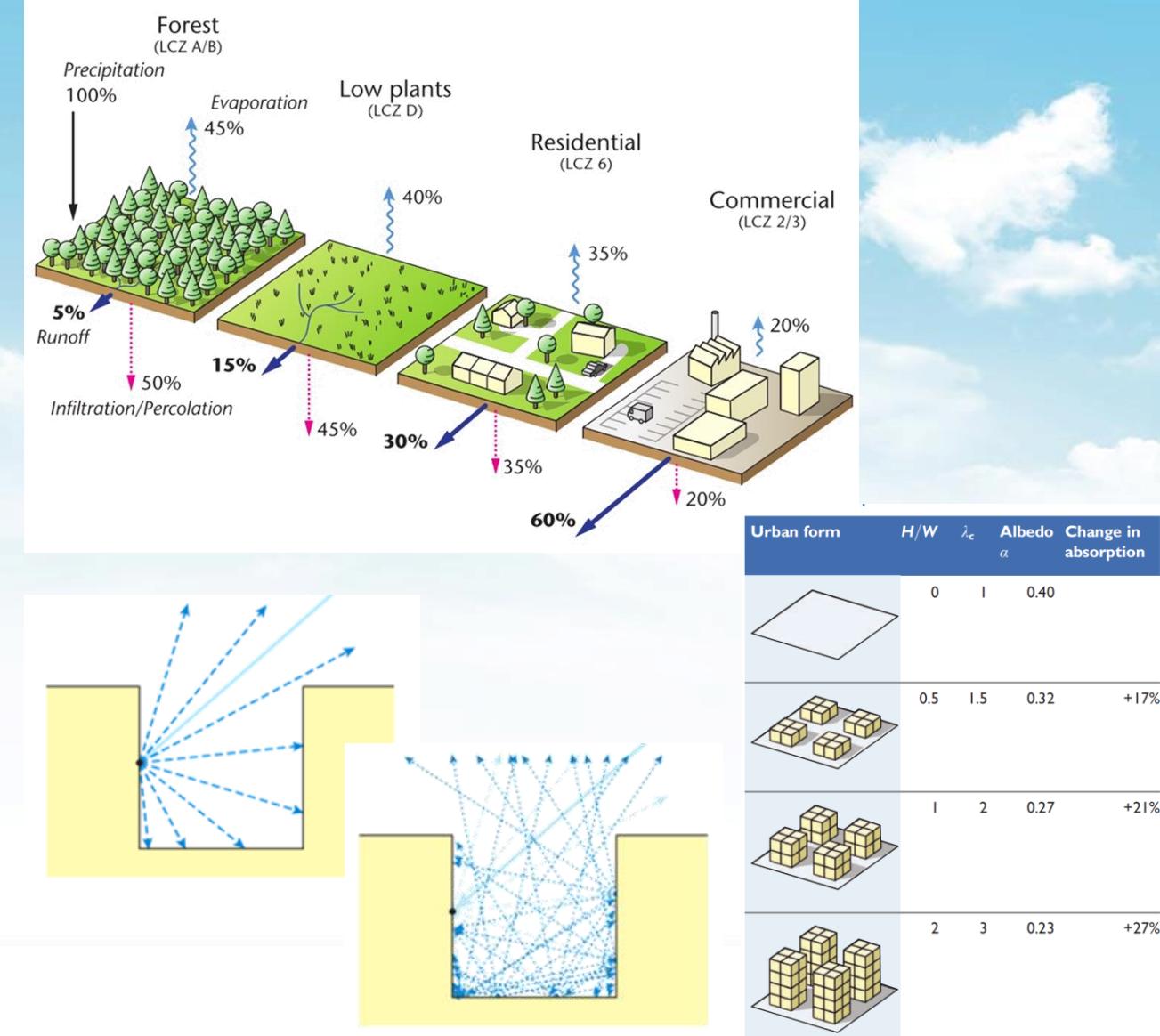
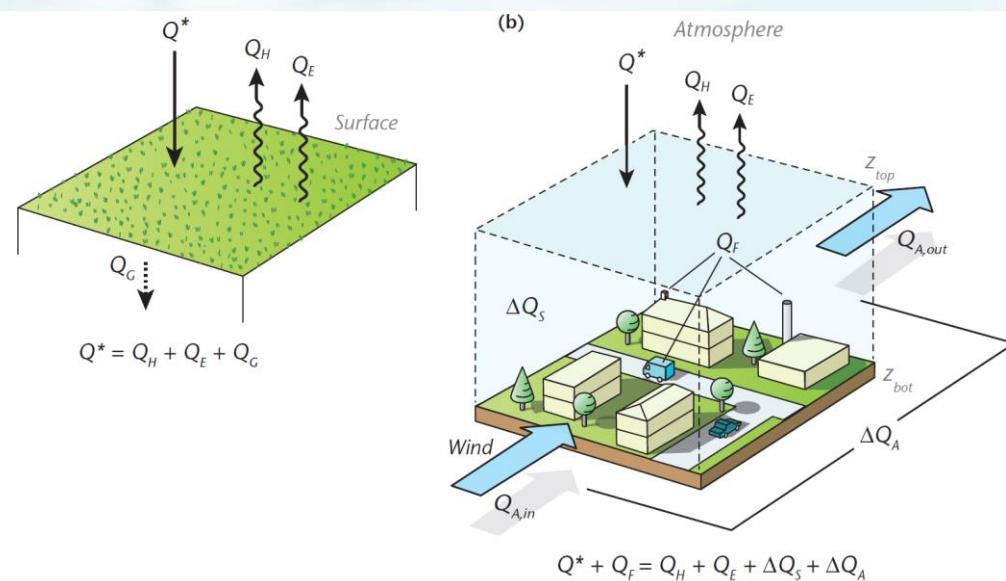


Figure 6.1 An extreme case of the replacement of natural properties (surface geometry, materials) by built ones (including anthropogenic heat for space cooling) that radically alter the surface water and energy balances. An alley (microscale) in Singapore, which is otherwise renowned for the abundance of vegetation (especially trees), throughout the city (Credit: L. Wee/Getty Images; with permission).

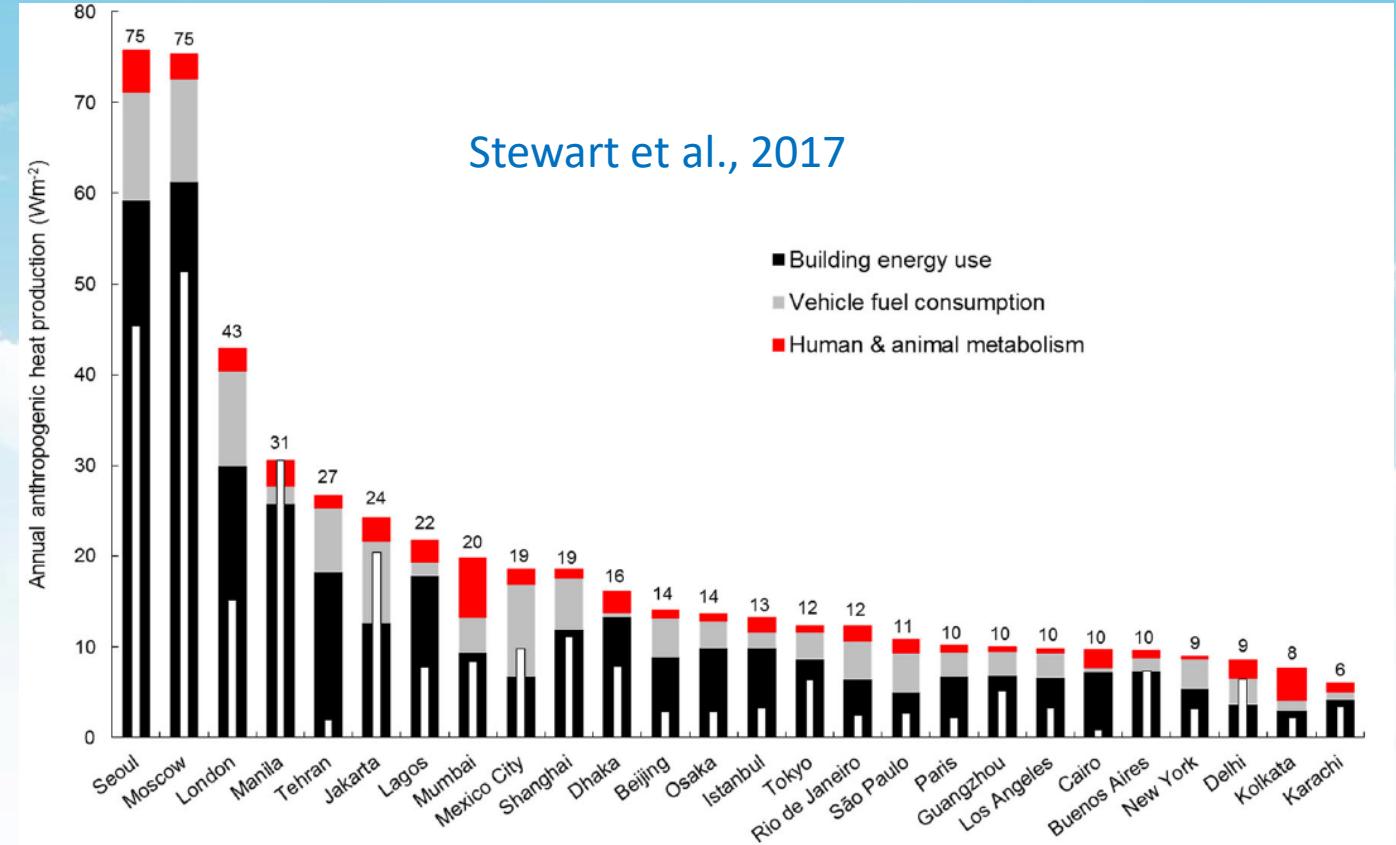
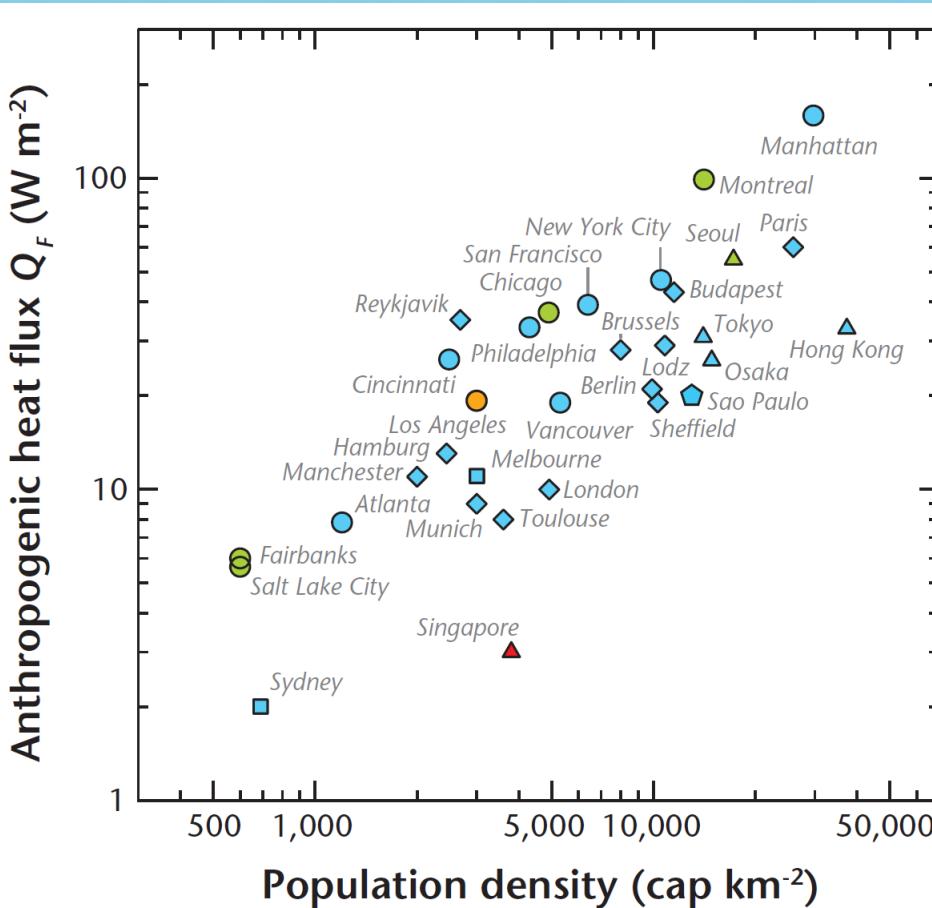
Физические механизмы

Изменения свойств поверхности

- Термофизические свойства материалов (альбедо, теплоемкость ..)
- Геометрия городской застройки, переотражение и переизлучение радиации
- Наличие запечатанных (непроницаемых для влаги) поверхностей
- Изменение слагаемых теплового баланса



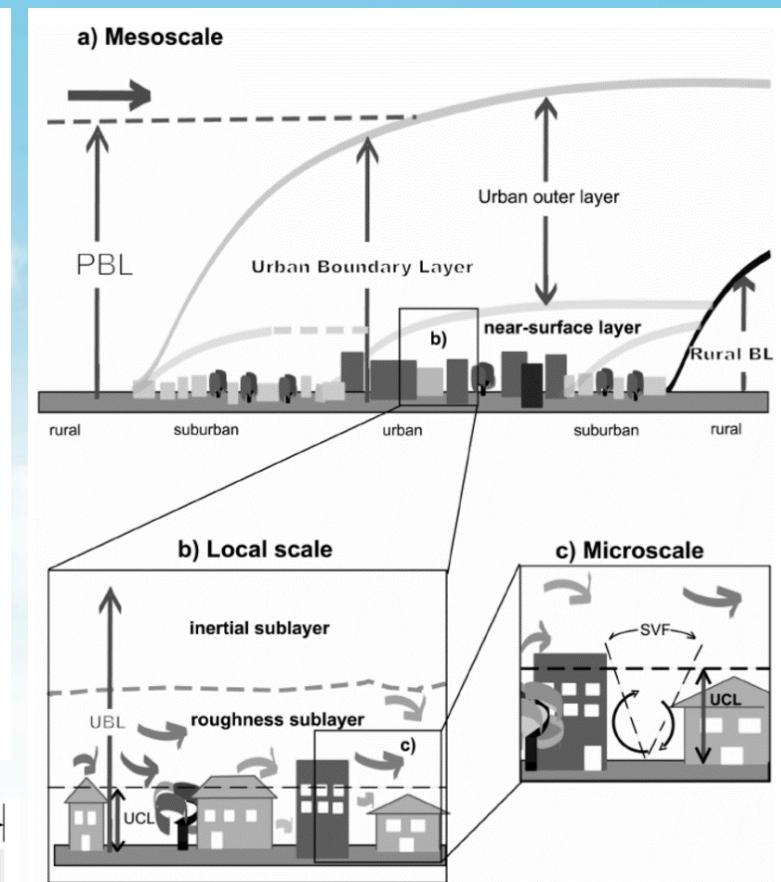
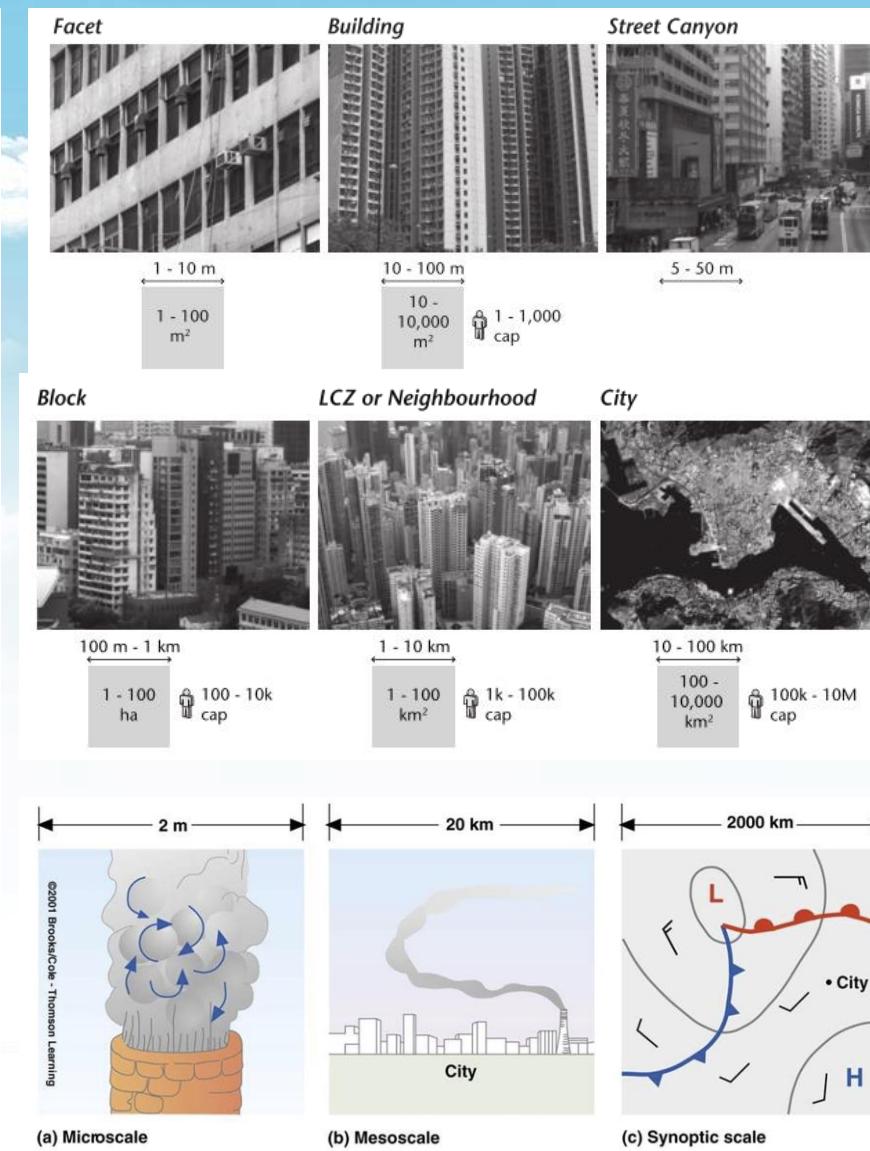
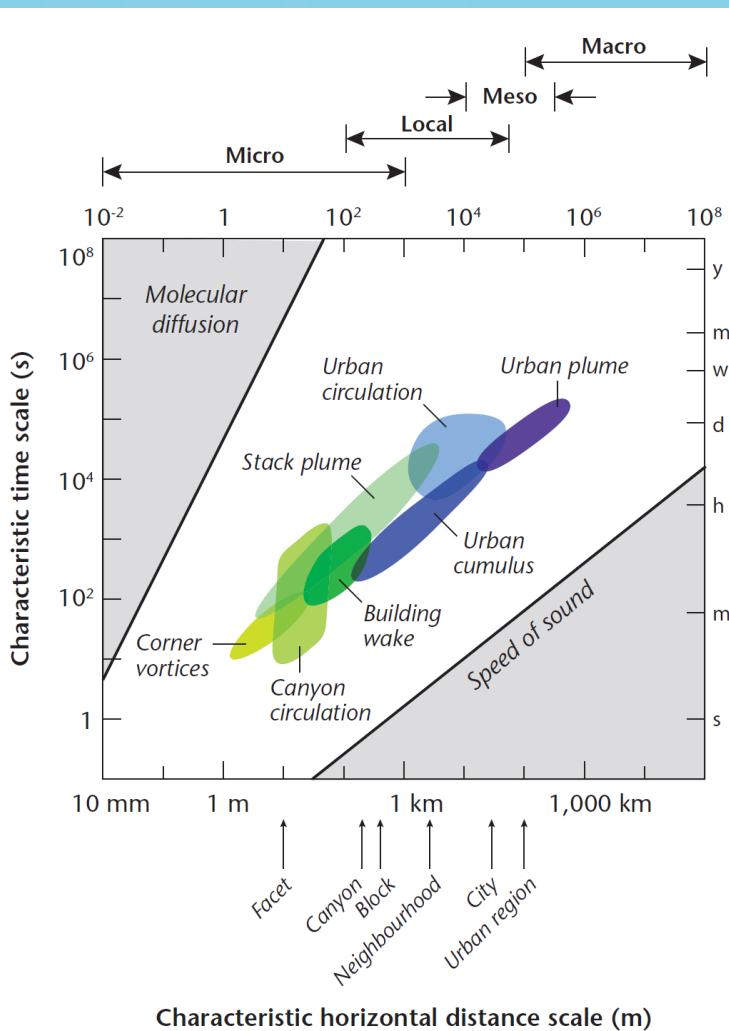
Антропогенный поток тепла



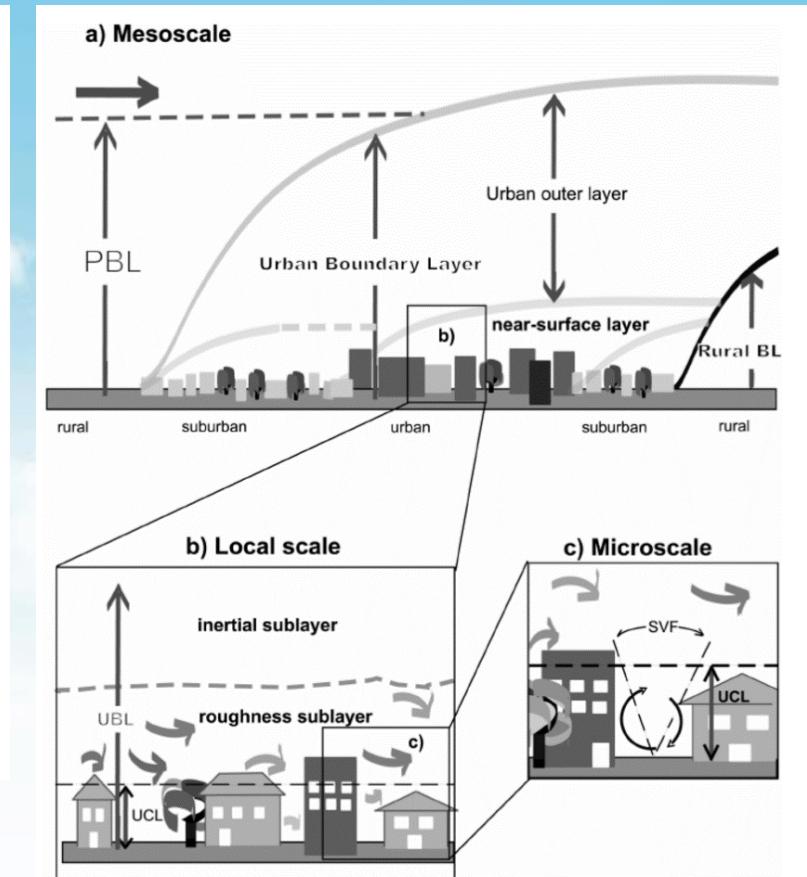
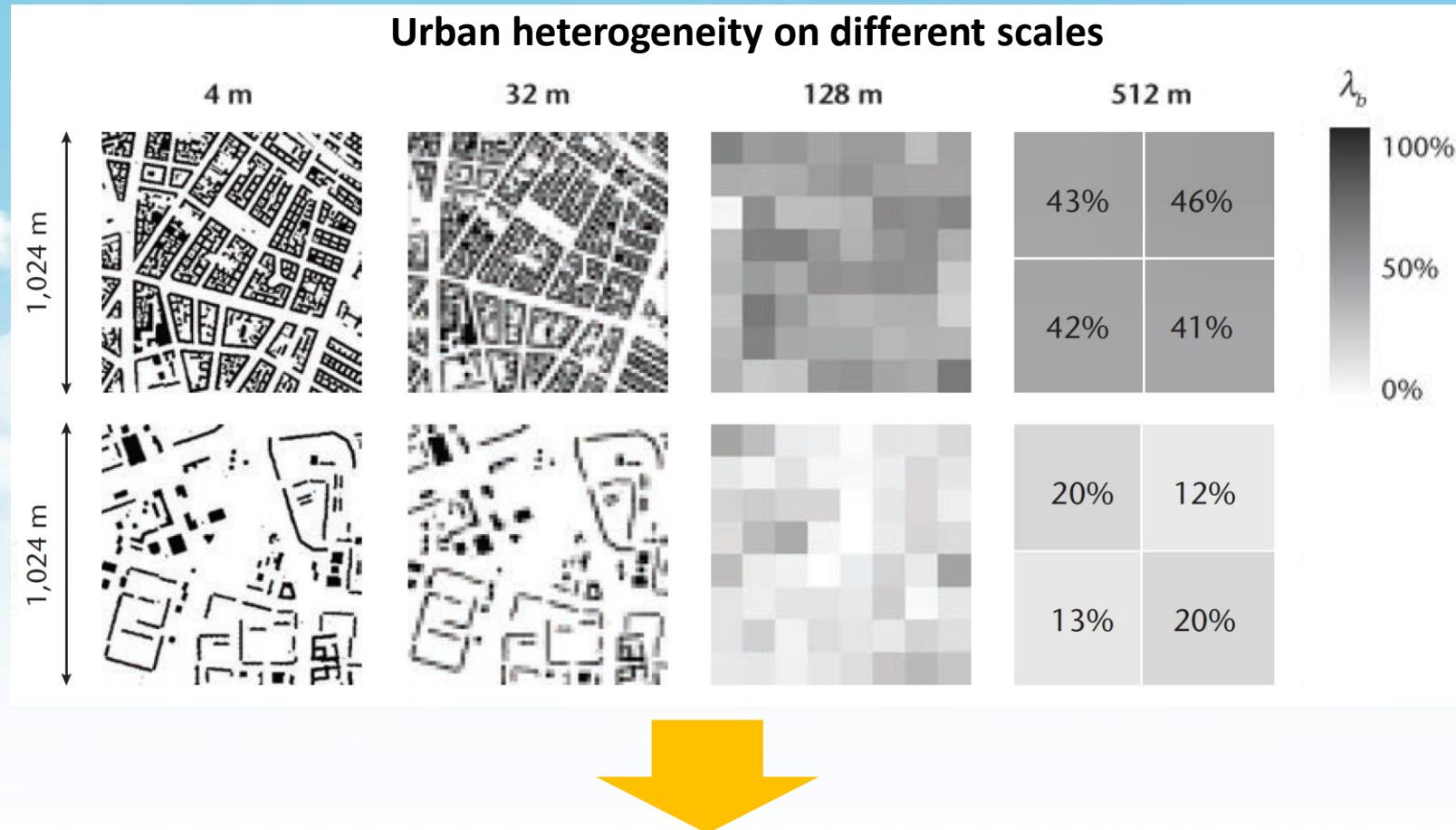
Stewart et al., 2017



Масштабы атмосферных процессов



Масштабы атмосферных процессов



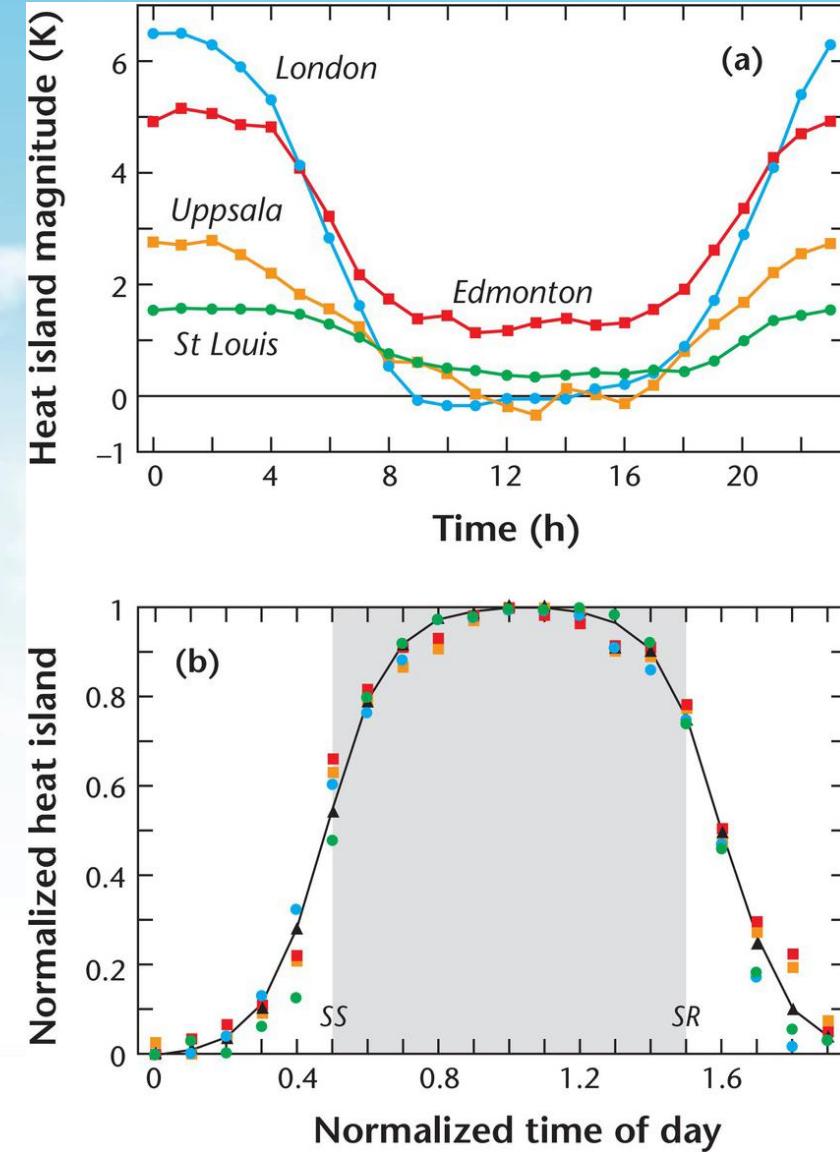
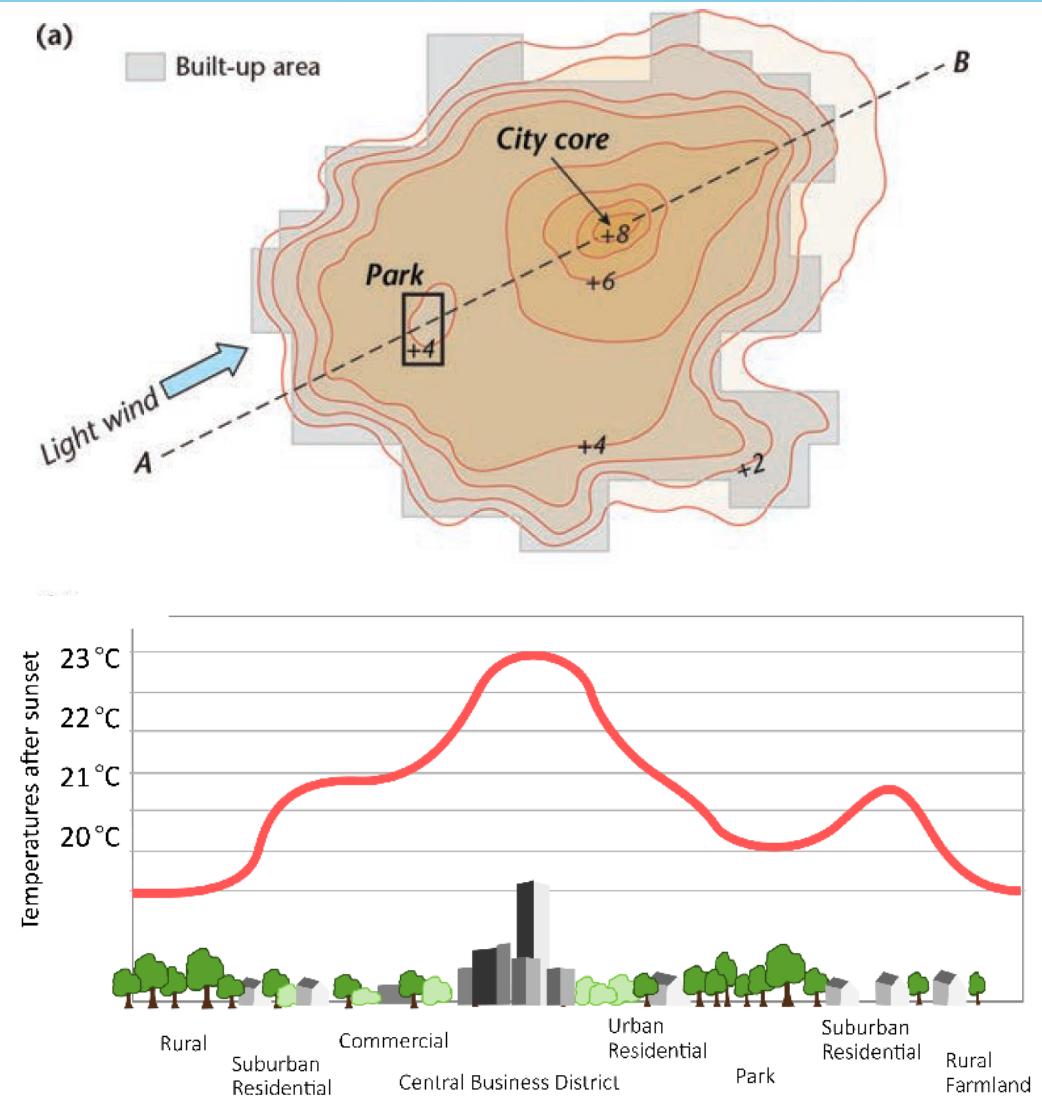
Масштаб процессов определяет выбор данных
и моделей для исследования

Городской остров тепла

Характеристики острова тепла:

- Остров тепла в поле приземной температуры (UCL UHI)
- Остров тепла в поле температуры поверхности (Surface UHI)

Важно их не путать!

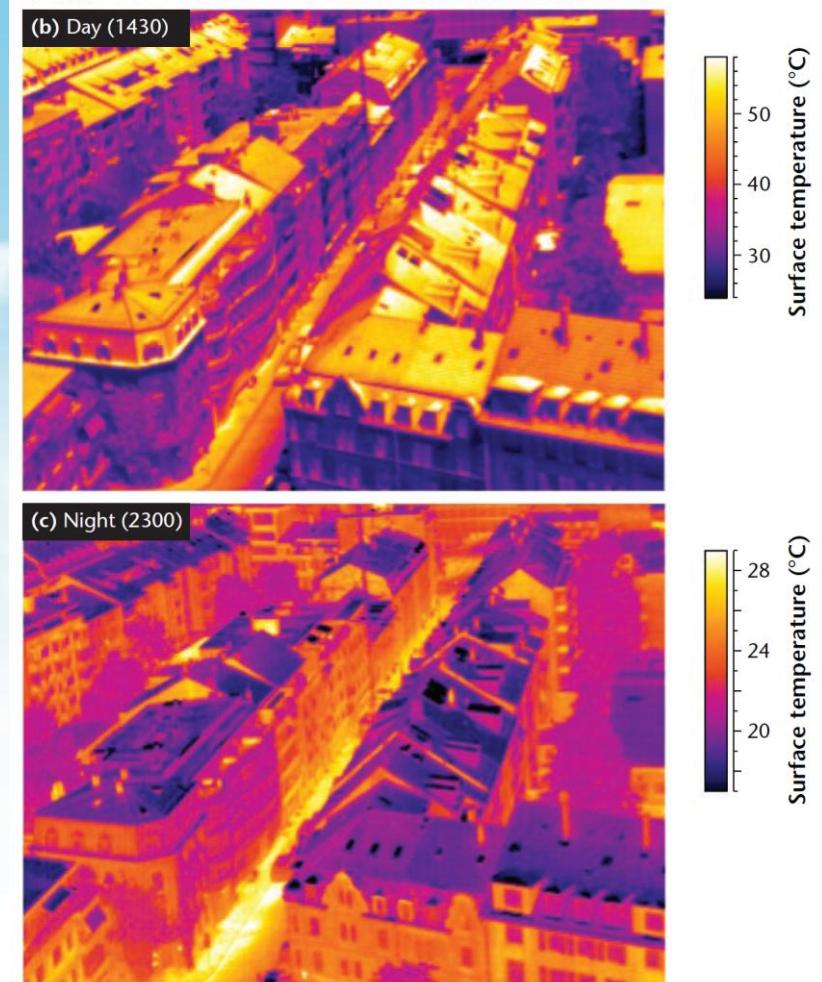
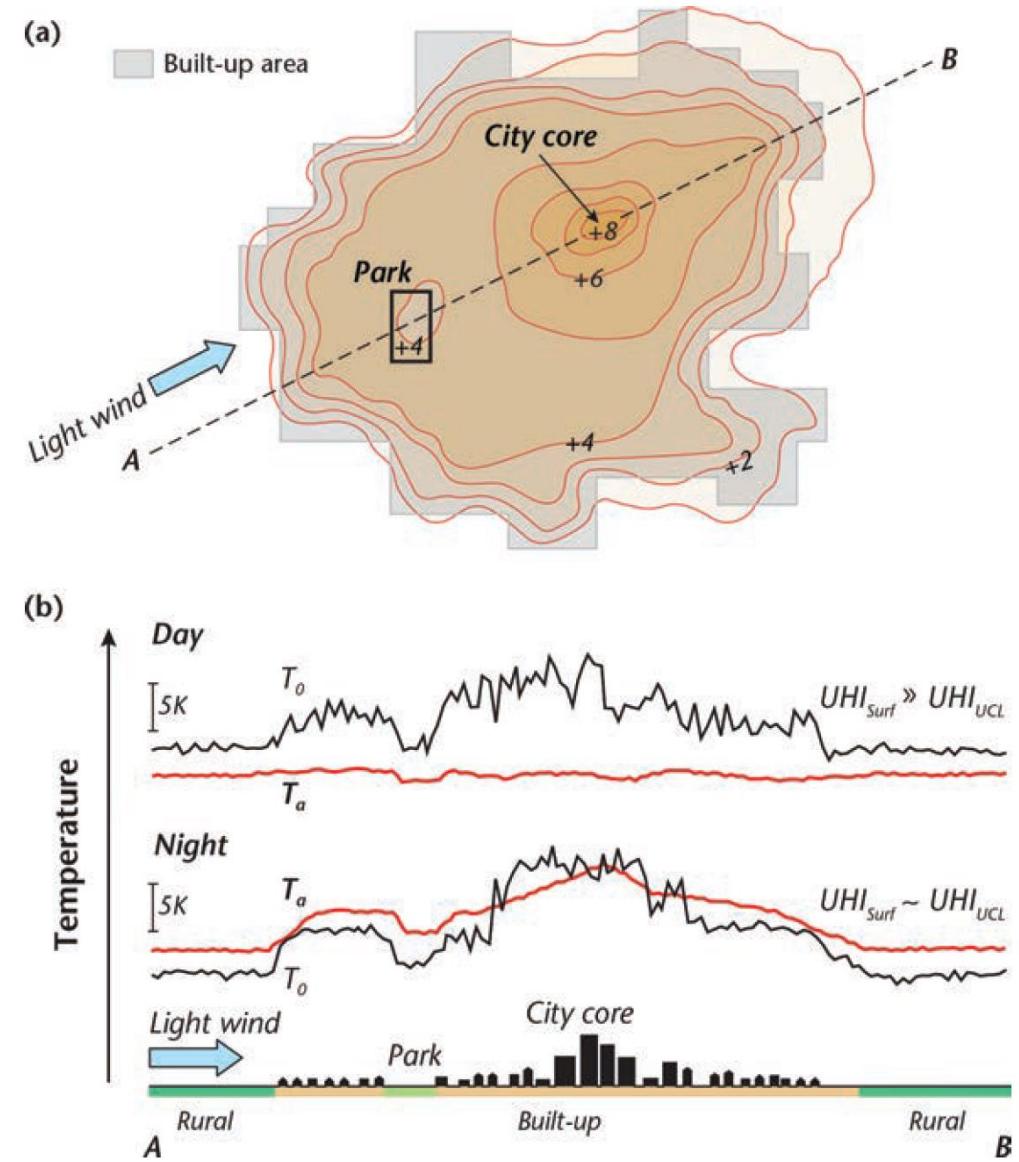


Городской остров тепла

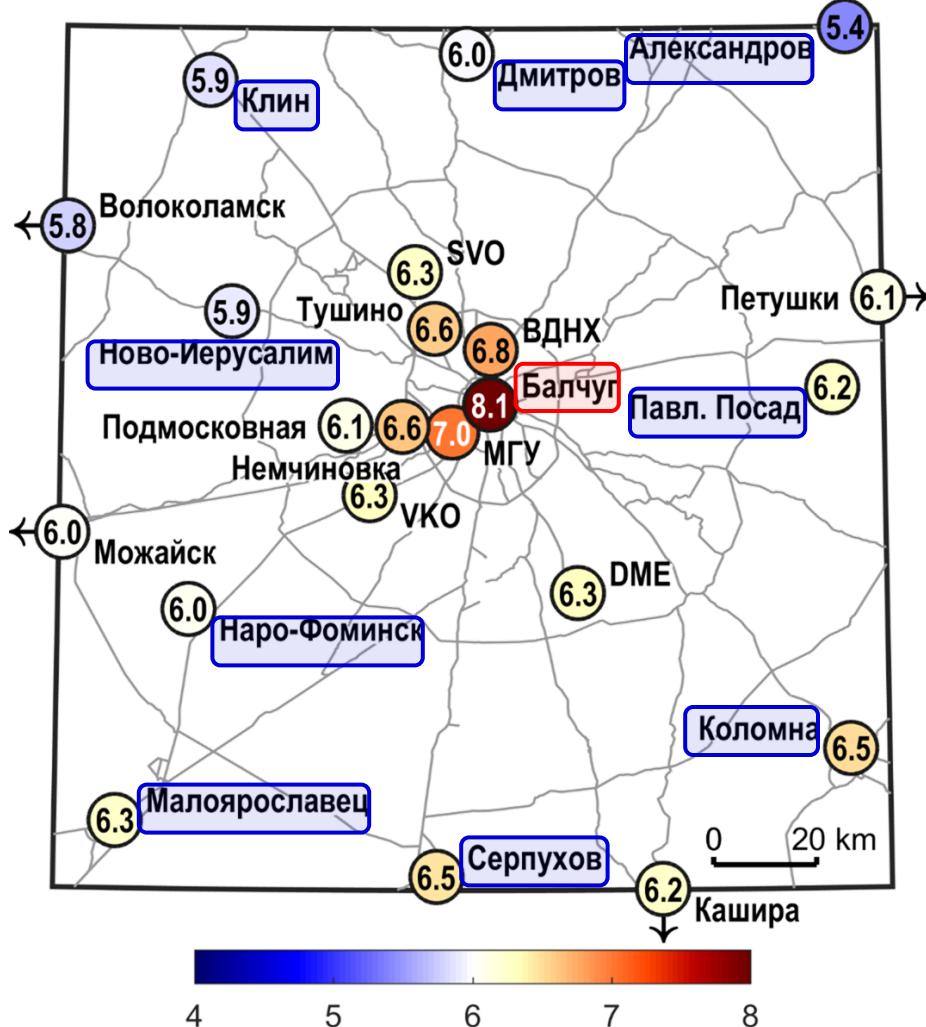
Характеристики острова тепла:

- Остров тепла в поле приземной температуры (UCL UHI)
- Остров тепла в поле температуры поверхности (Surface UHI)

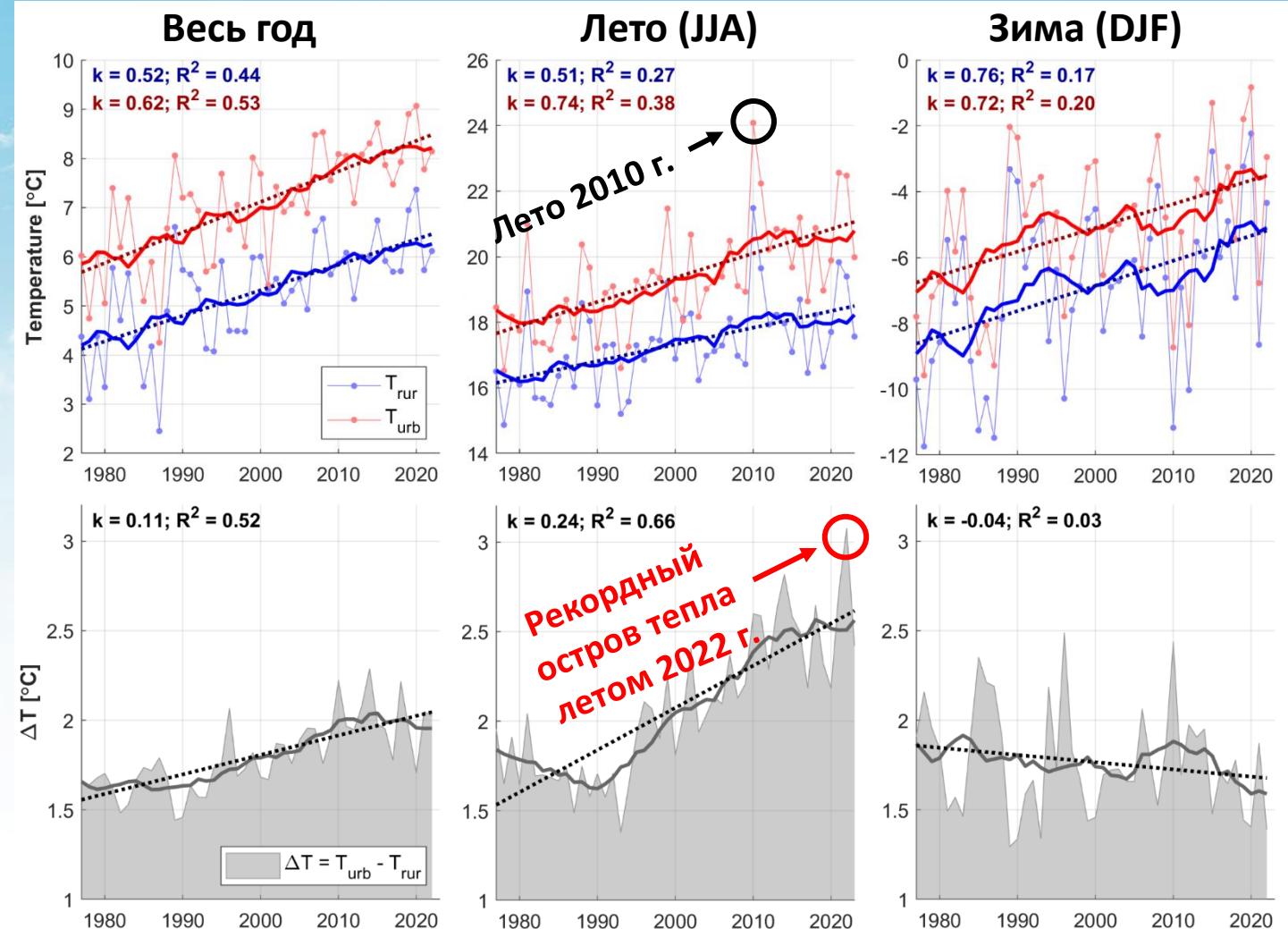
Важно их не путать!



Остров тепла Москвы



Средняя температура за 2007-2016 гг.



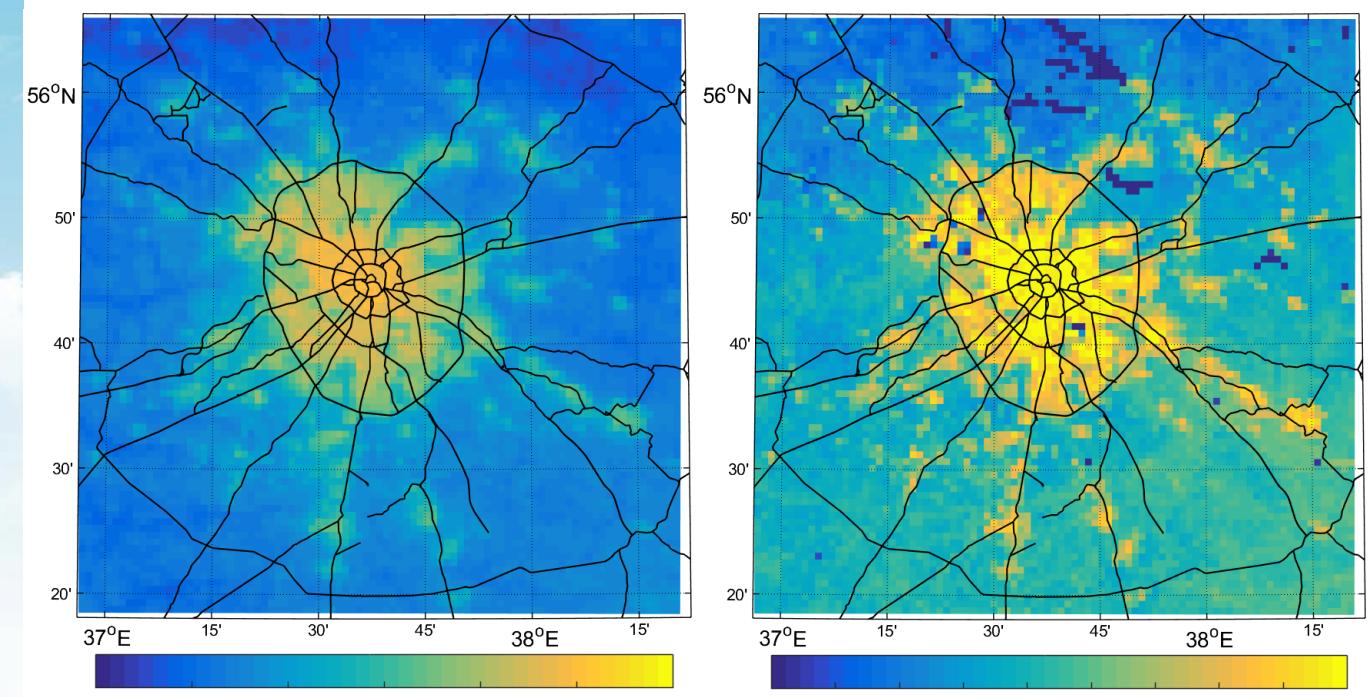
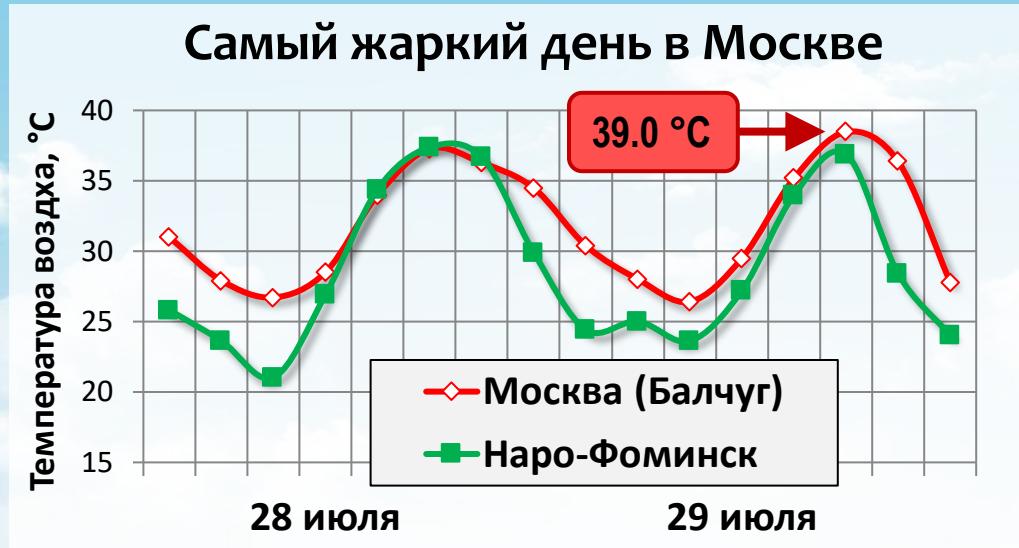
Тренд усиления острова тепла обусловлен как ростом и развитием города, так и крупномасштабными измерениями климата (Varentsov et al., 2023)



На что все это влияет?

Влияние на комфорт и здоровье населения

Примеры для экстремальной волны жары 2010 г.



Сравнение с данными по смертности
(Zemtsov et al, 2020)

Влияние на атмосферные процессы

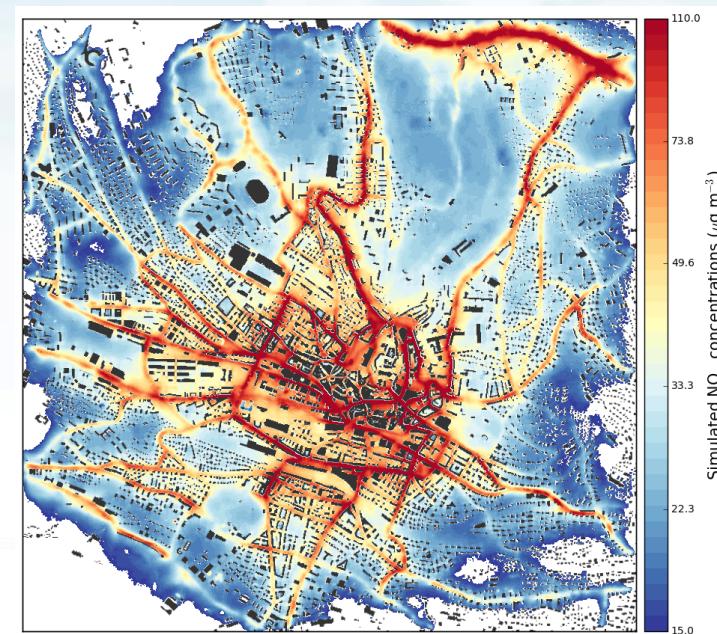
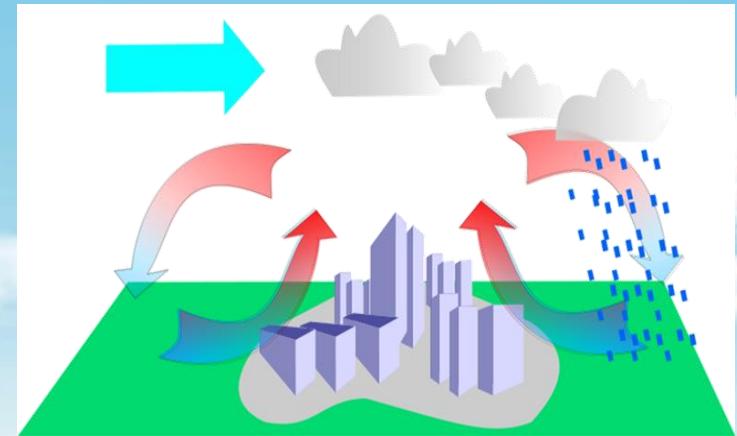
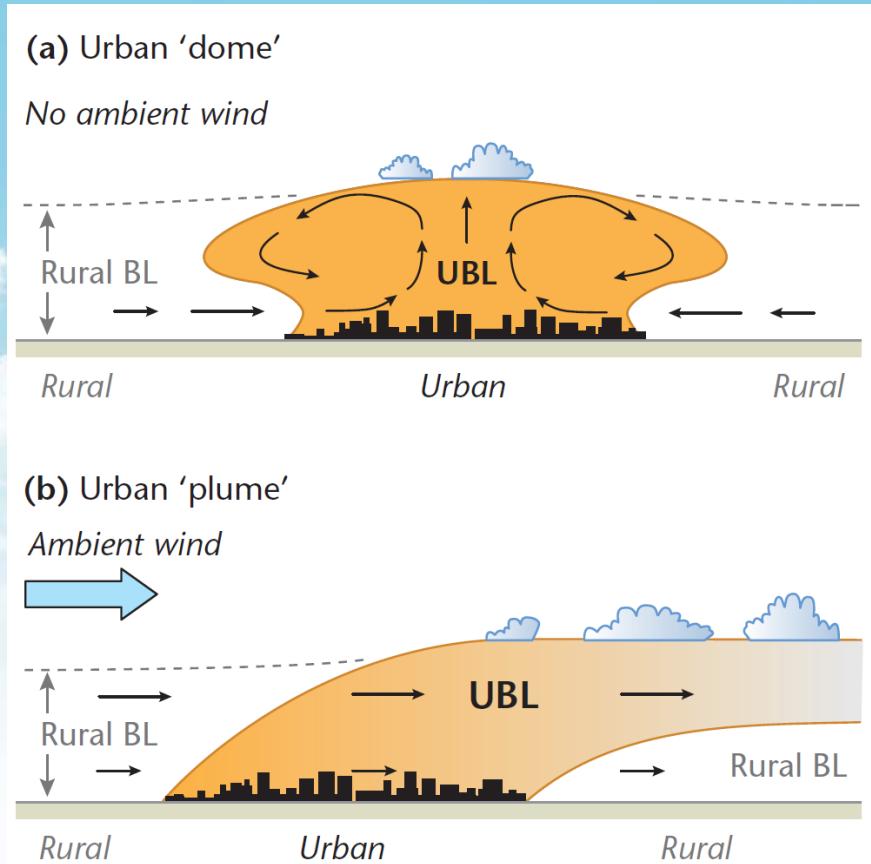
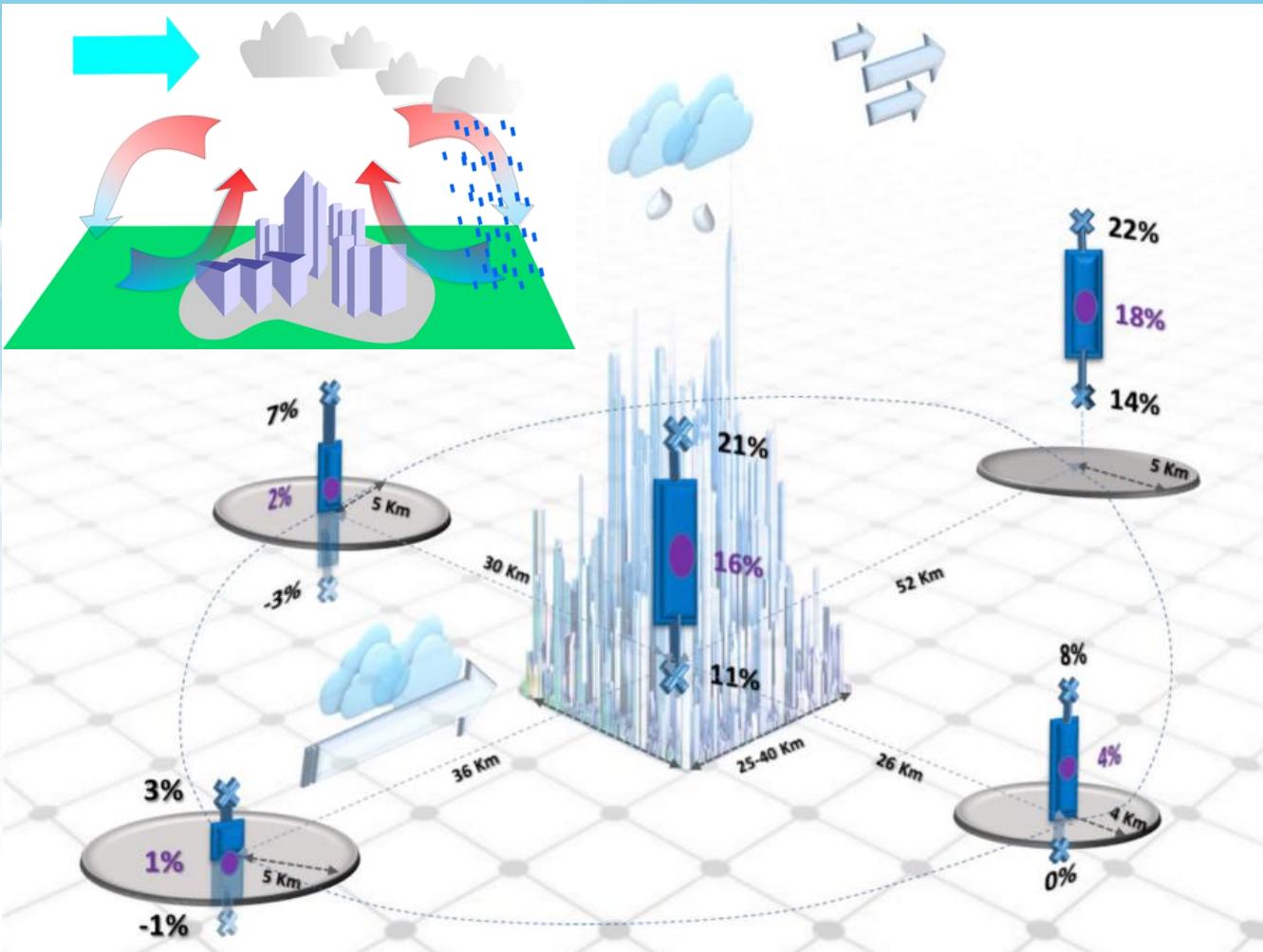
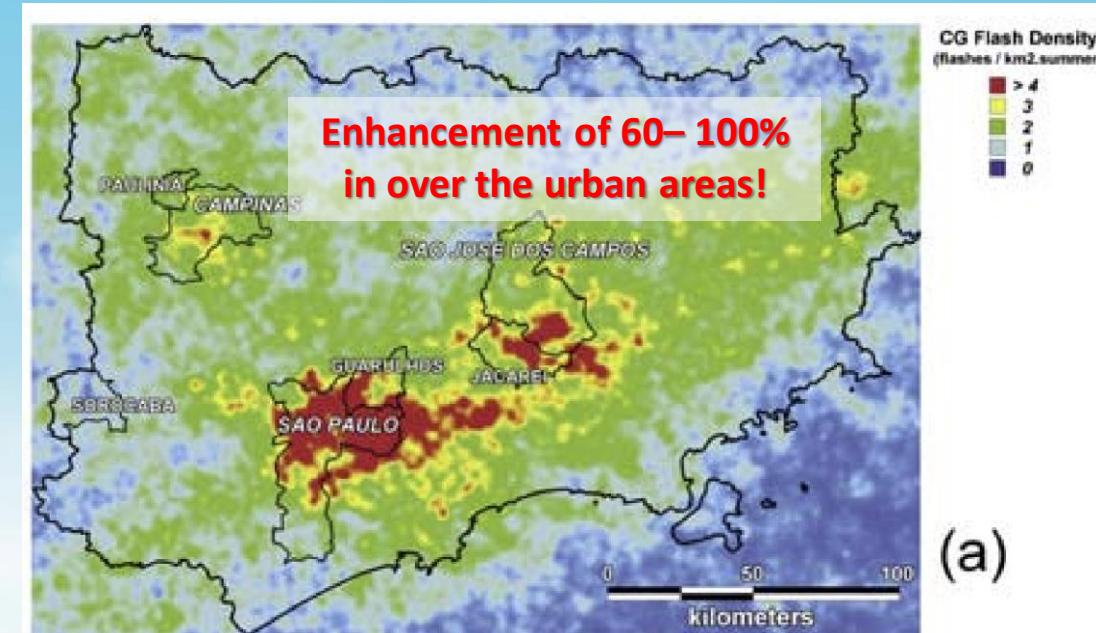


Figure 2.12 Typical overall form of urban boundary layers at the mesoscale: (a) urban 'dome' when regional flow is nearly calm, and (b) urban internal boundary layer and downwind 'plume' in moderate regional airflow.

Влияние на осадки и опасные явления

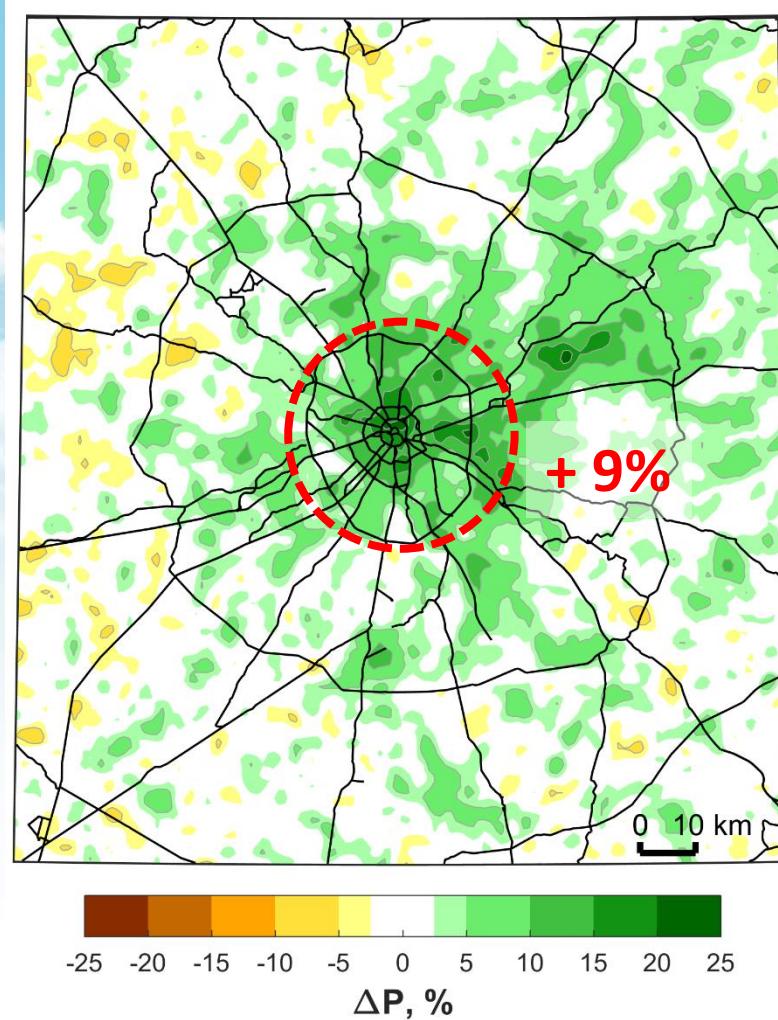


Liu, J., & Niyogi, D. (2019). Meta-analysis of urbanization impact on rainfall modification. *Scientific Reports*, 9(1), 7301



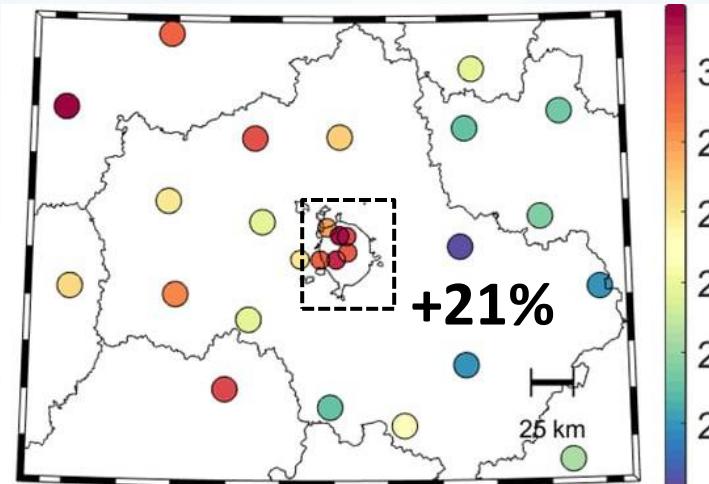
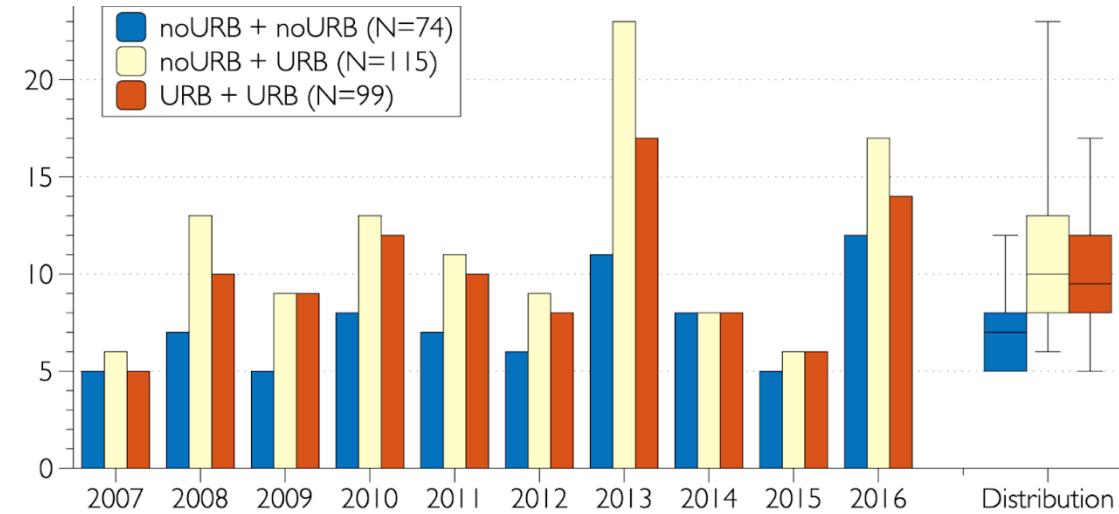
Naccarato et al. (2003) Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of Southeastern Brazil

Влияние на осадки и опасные явления



Влияние Москвы на летние суммы осадков в среднем за 10 лет (2007-2016) по данным моделирования (Varentsov et al., 2018)

Повторяемость дней с одновременным превышением суточных сумм осадков и максимальной скорости ветра 99-х перцентиляй по данным моделирования учетом и без учёта влияния города (Platonov et al., 2023, submitted)



Повторяемость суточных сумм осадков 20-40 мм по данным многолетних наблюдений (Ярынич, 2022)

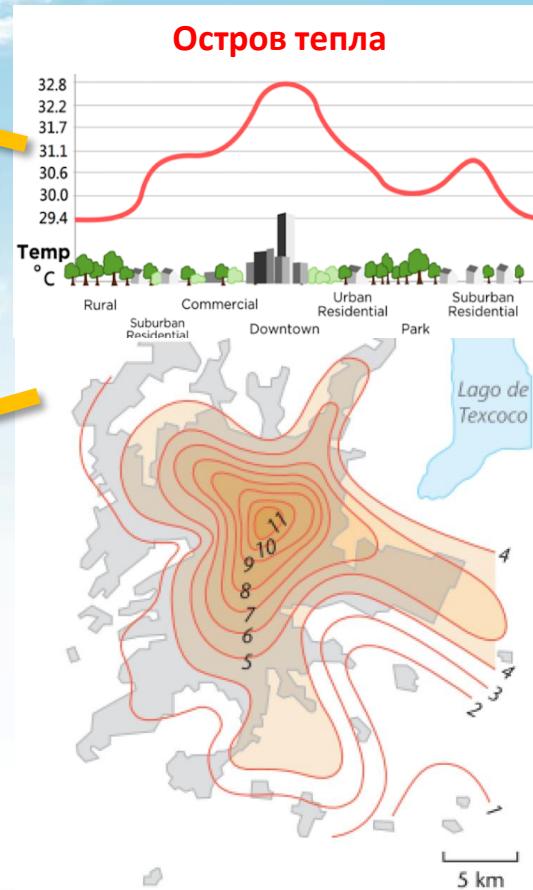


Влияние города выражено сильнее всего не для самых экстремальных, но интенсивных осадков

Влияние на население и хозяйство



Городские
экосистемы



Опасные явления
и риски для городской
инфраструктуры

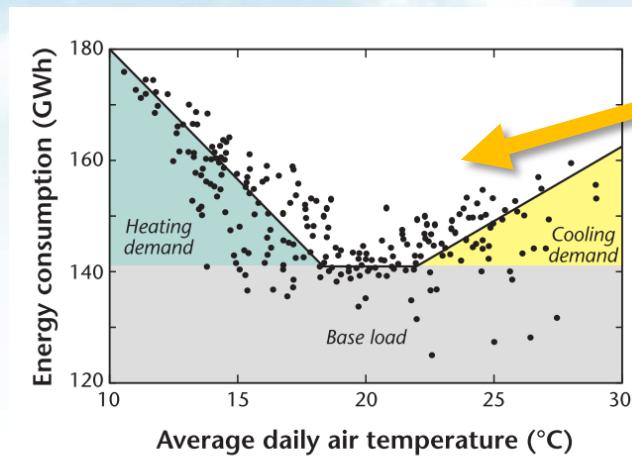


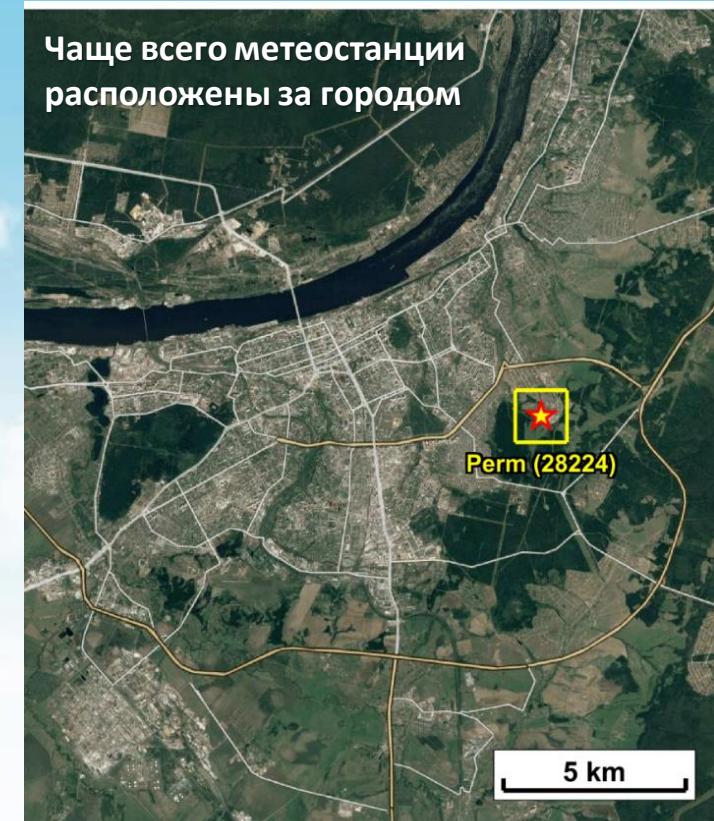
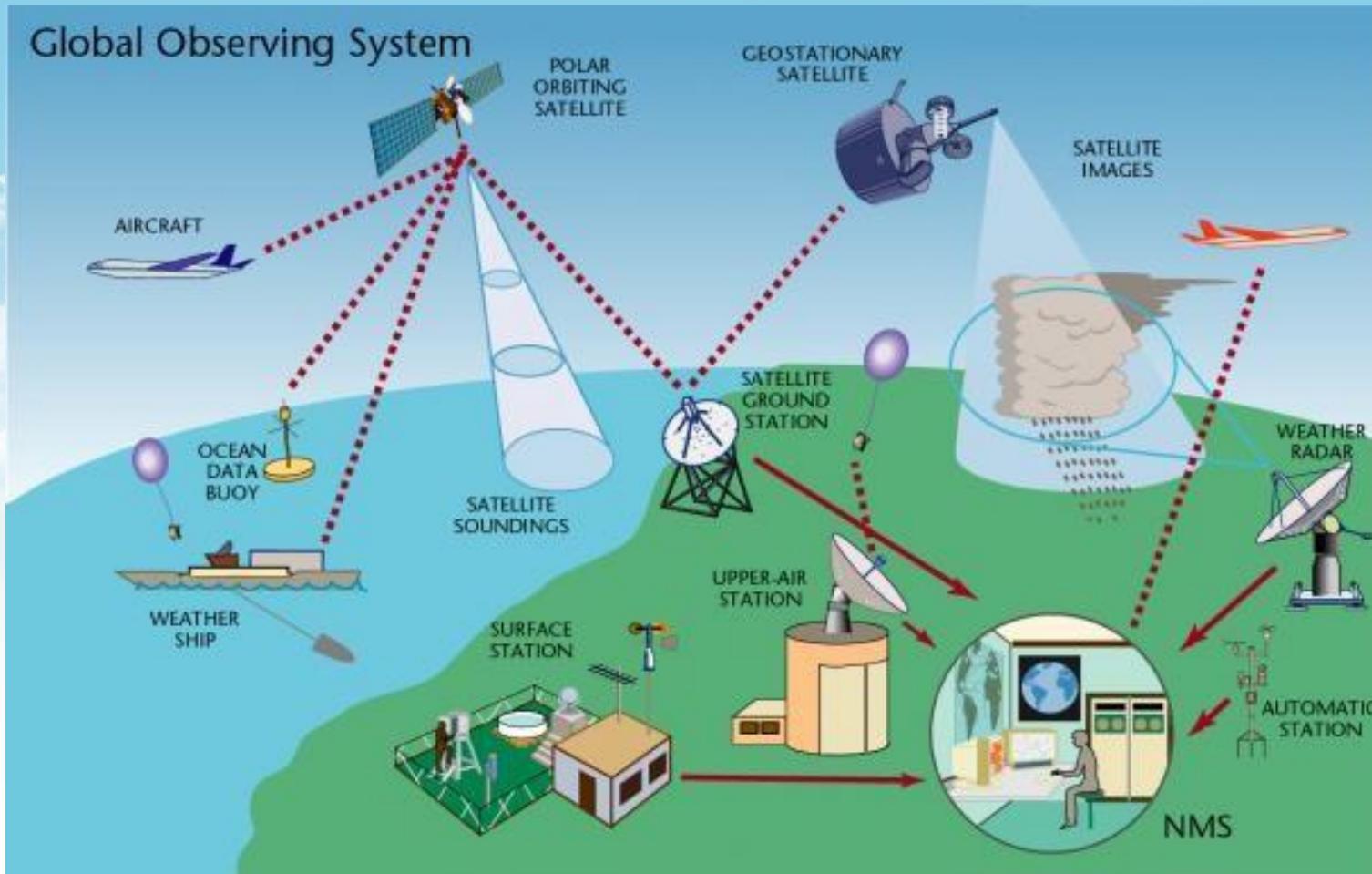
Figure 6.4 Daily energy demand by Sidney, Australia, as met by electrical power on the grid in 1990–91 (Source: Modified based on data by Pacific Power Inc.).

Затраты энергии на отопление и
кондиционирование



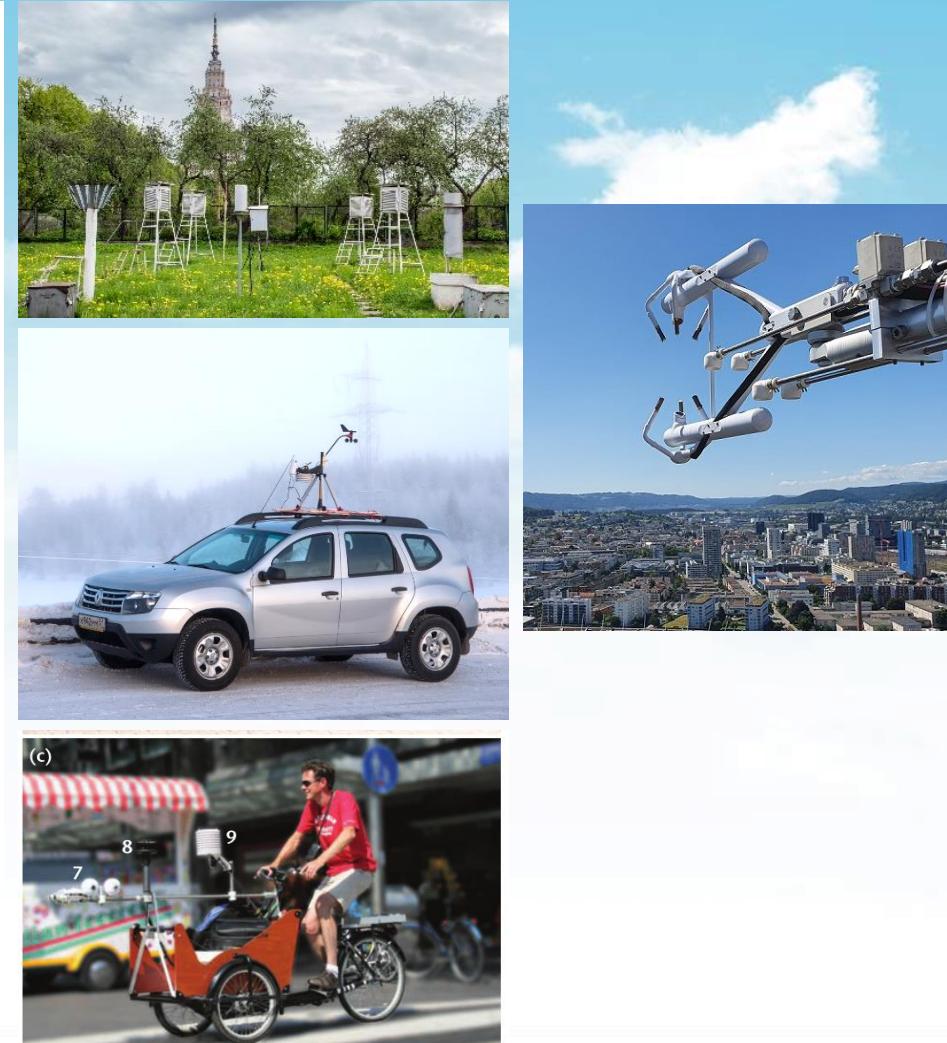
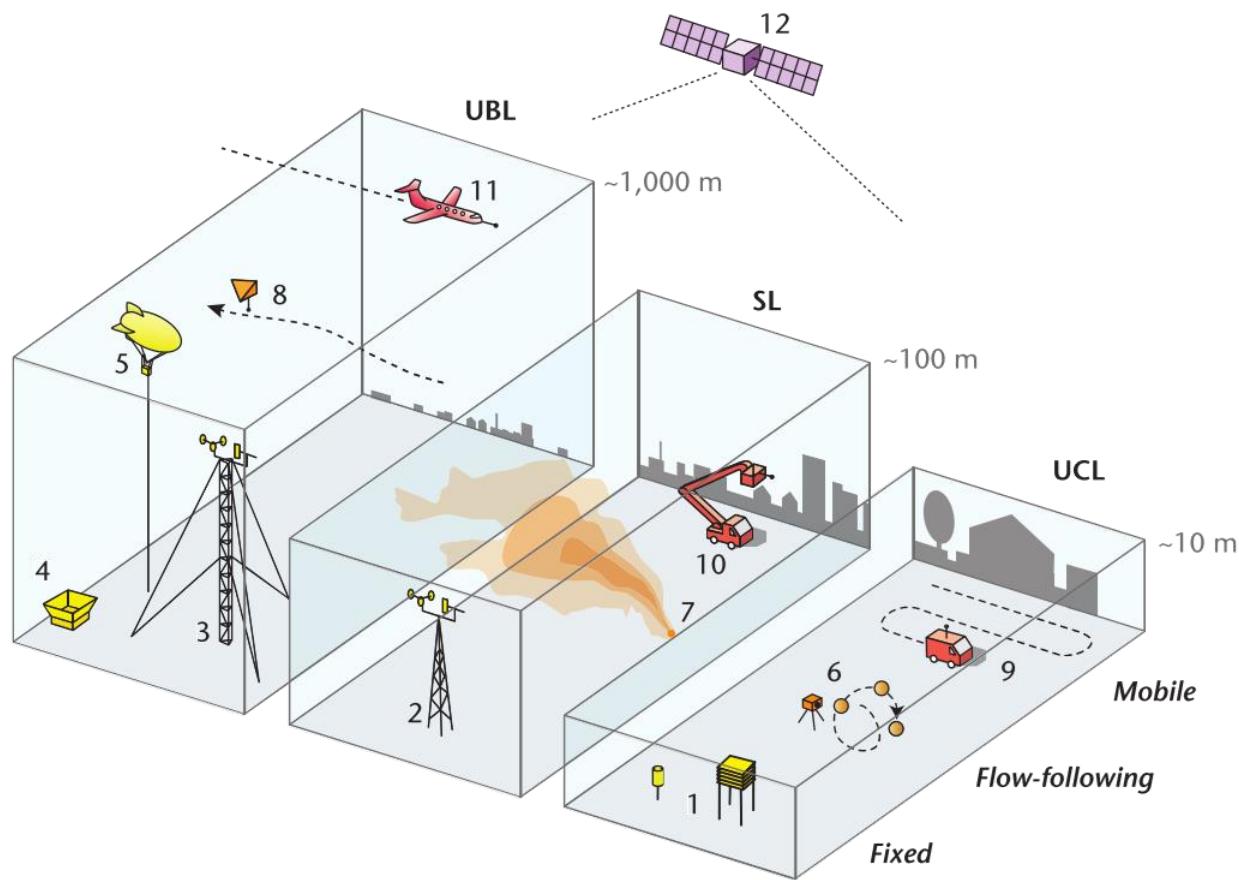
Термический комфорт и
здравье населения

Данные и методы: мониторинг



Только 15% крупных городов
России освещено
репрезентативными
городскими метеоданными

Данные и методы: мониторинг

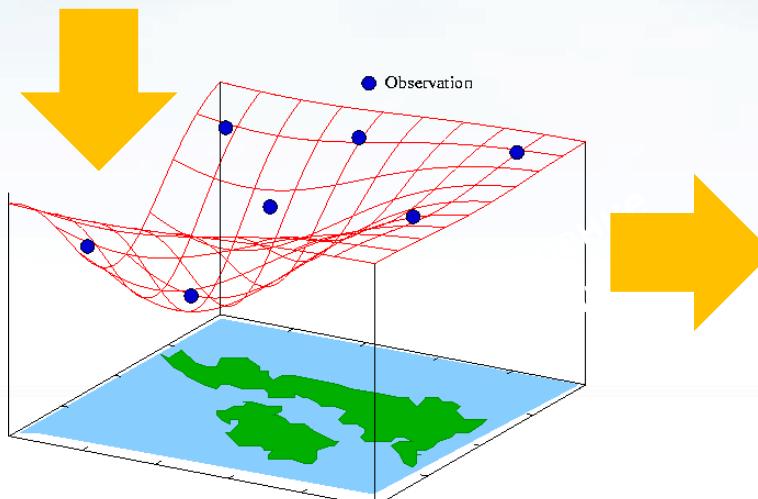


Данные и методы: натурные эксперименты



Comprehensive Outdoor Scale Model Experiment for Urban Climate (COSMO)

Данные и методы: модели погоды и климата



Conservation of momentum:

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

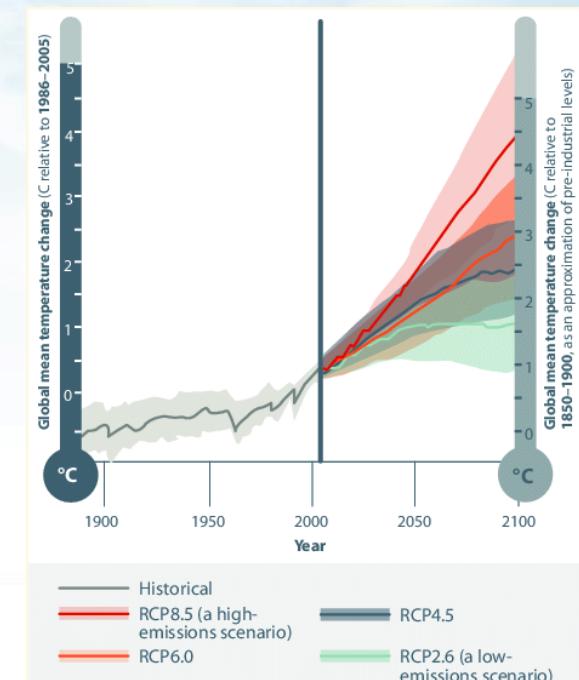
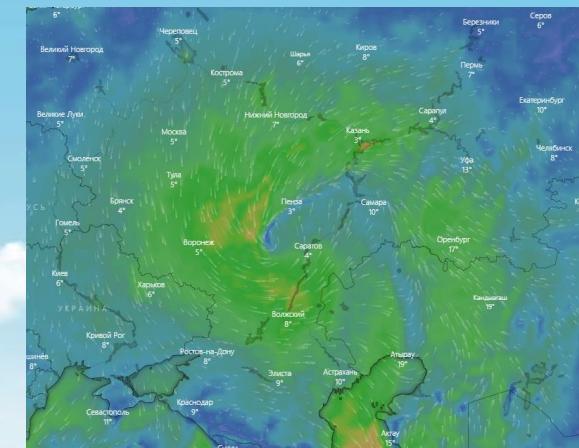
Conservation of energy:

$$\rho c_v \frac{\partial T}{\partial t} = -\rho c_v (\vec{V} \cdot \nabla) T - \nabla \cdot \vec{R} + \nabla \cdot (k \nabla T) + C + S$$

Conservation of mass:

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

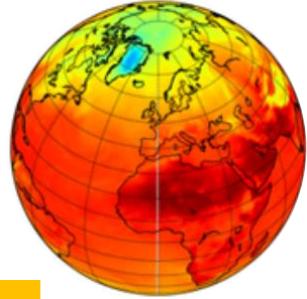
$$\frac{df_{1.5}}{dx} \approx \frac{f_2 - f_1}{\Delta x}$$



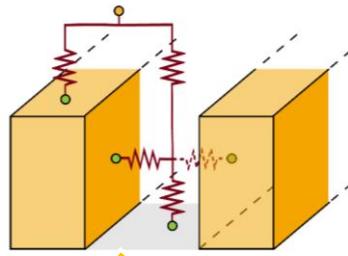
Моделирование погоды и климата для городов

Крупномасштабный форсинг

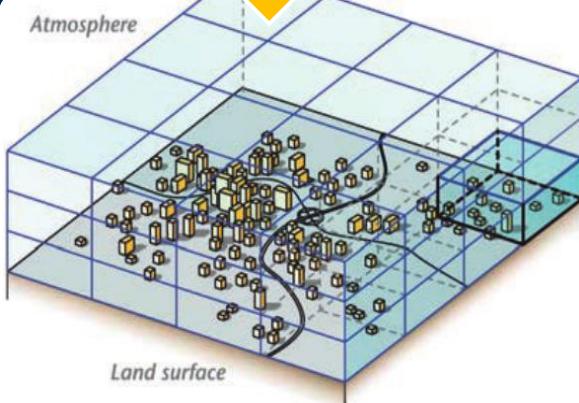
- Реанализ
- Прогноз
- Сценарии изменений климат



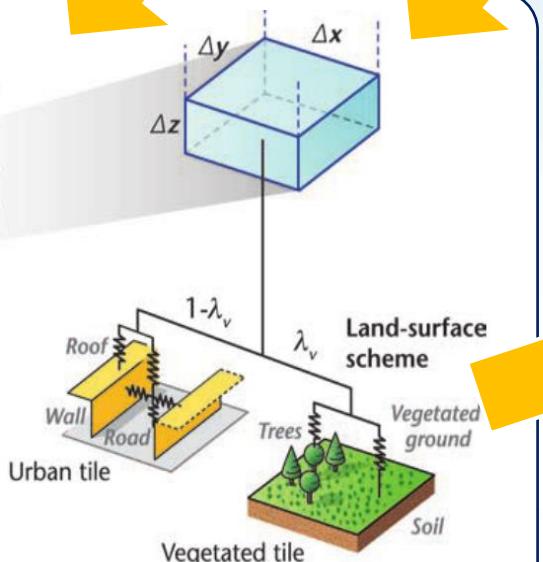
Городская параметризация



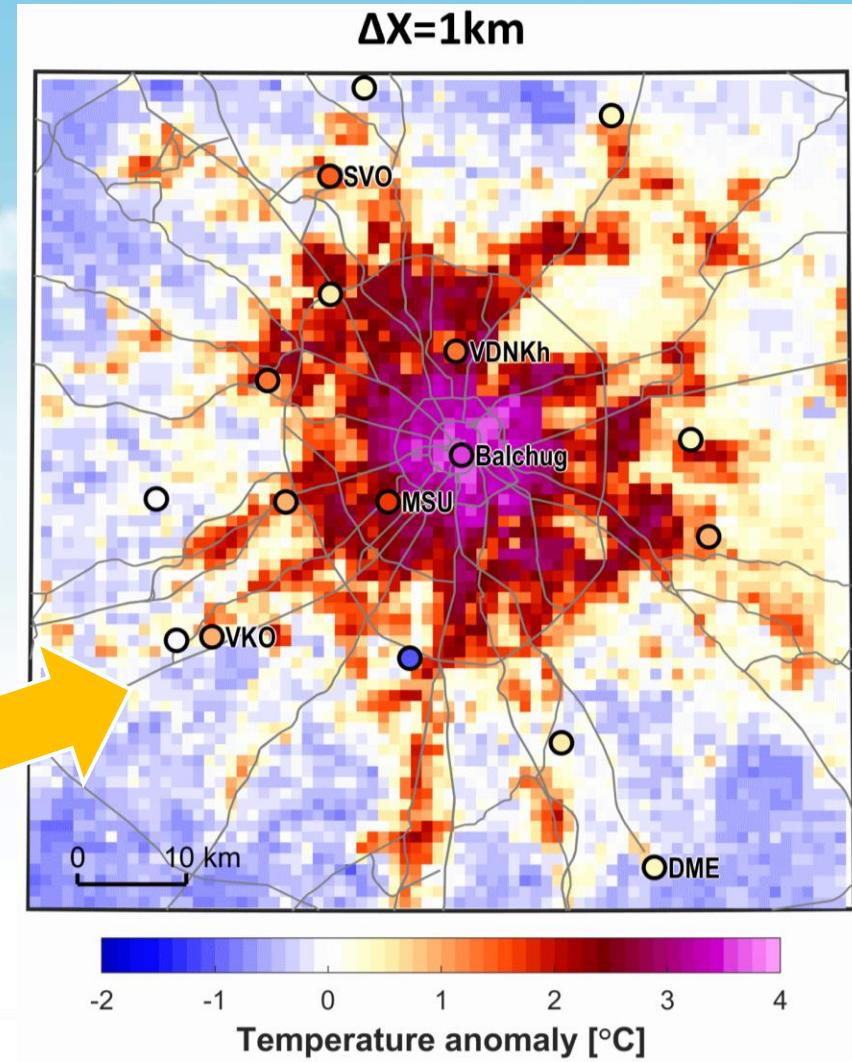
Параметры поверхности и городской среды



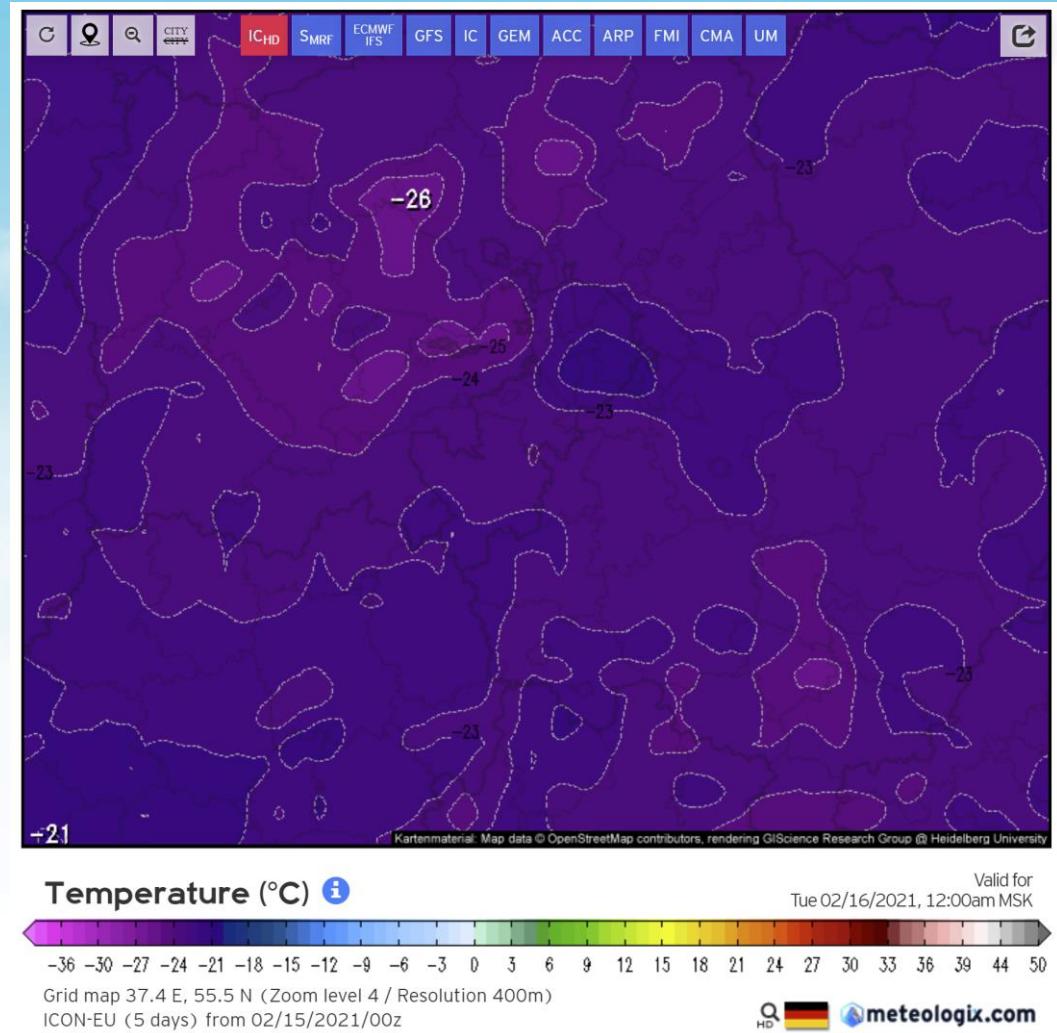
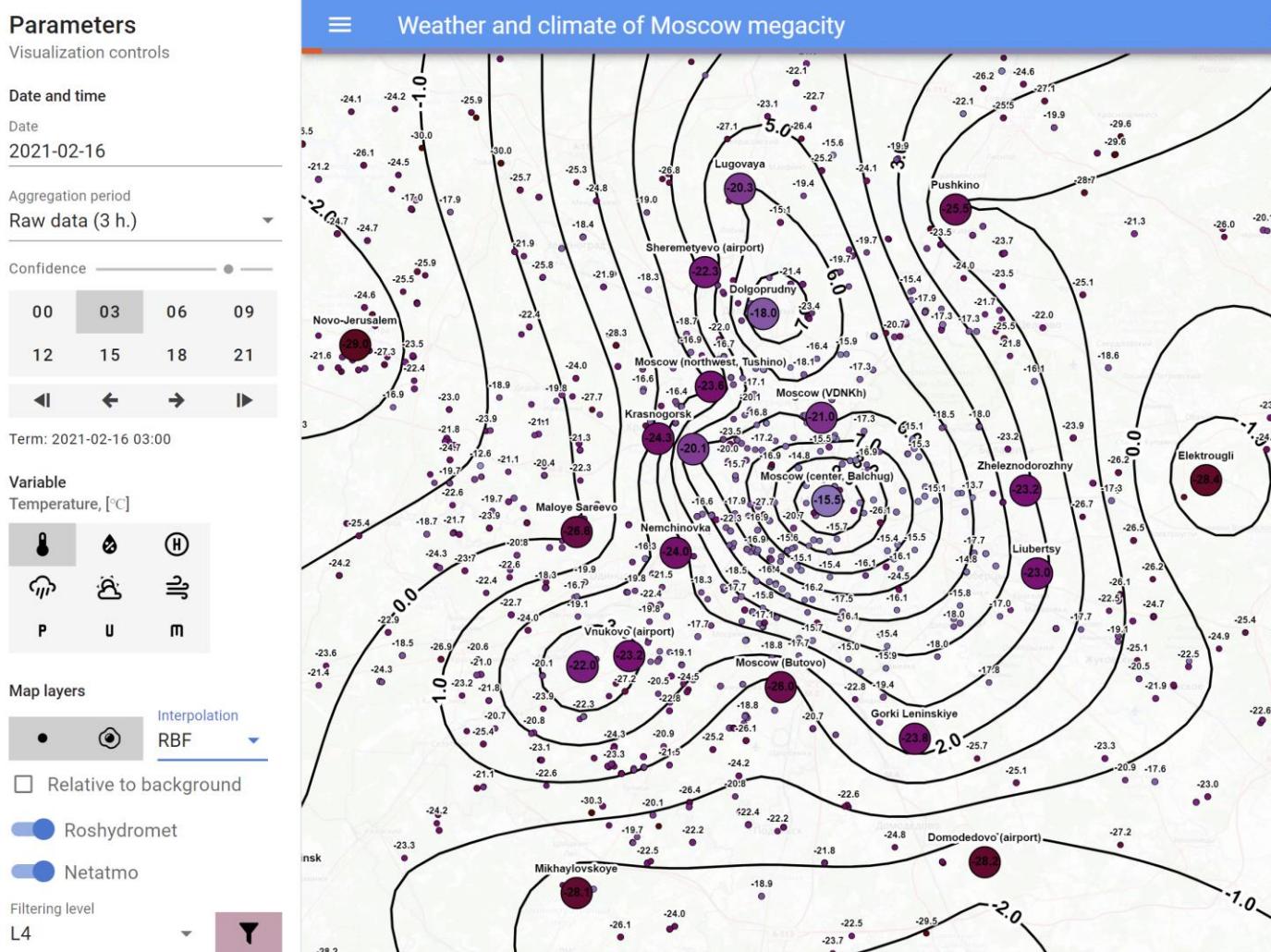
Региональная модель атмосферы



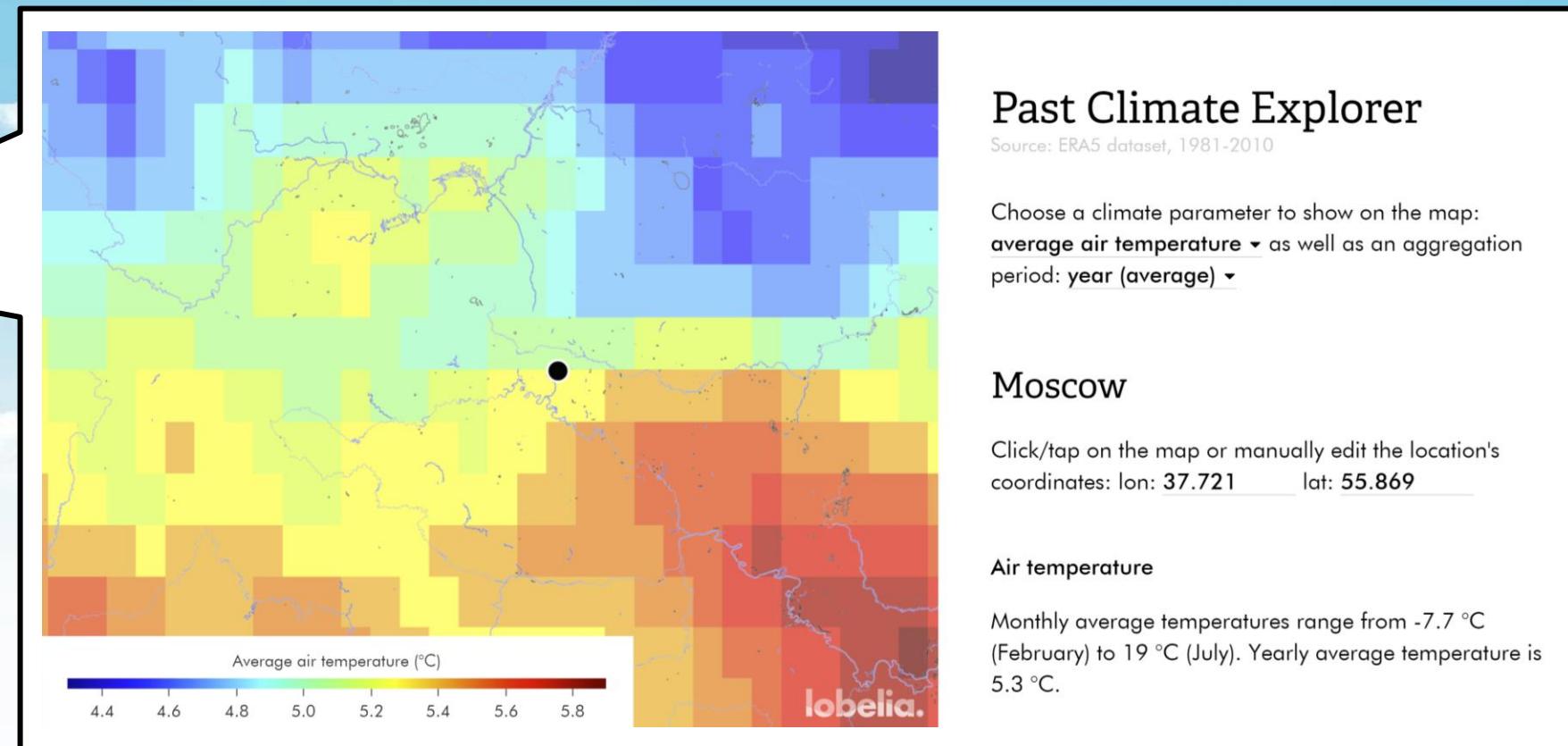
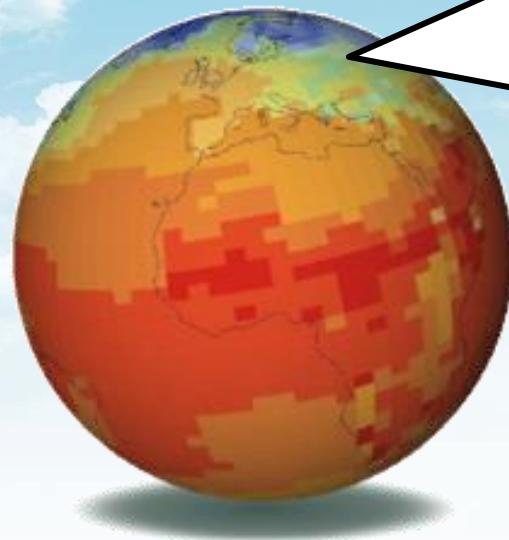
Суперкомпьютерные вычисления



Моделирование погоды и климата для городов



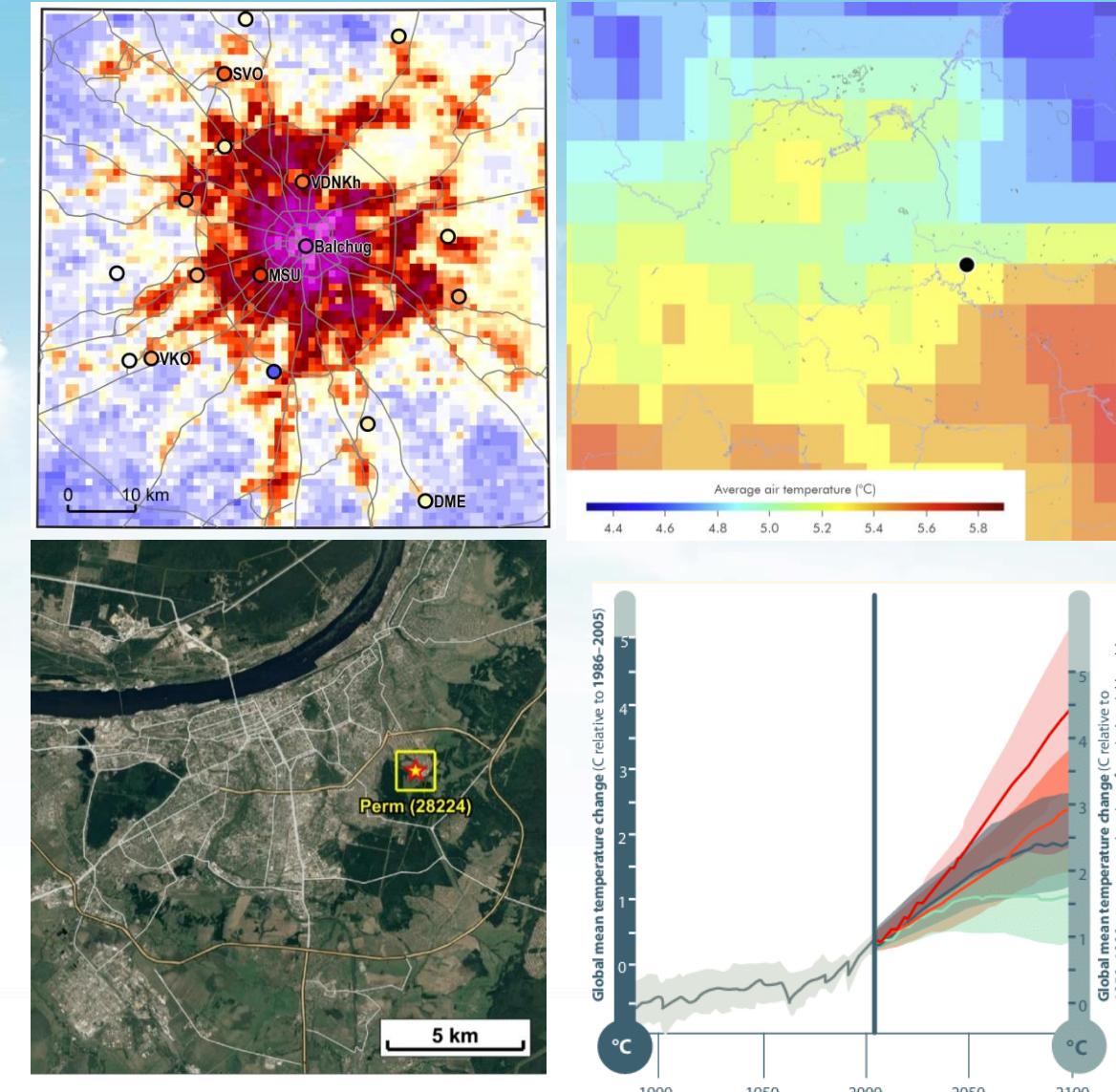
Моделирование погоды и климата для городов



Несмотря на стремительное развитие технологий моделирования атмосферных процессов, в задачах моделирования погоды и климата города по-прежнему редко учитываются

Что будет далее в нашем курсе

- Особенности интерпретации данных наблюдений и моделирования для городов
- Анализ данных различных форматов
- Различные модели для различных задач и масштабов
- Пространственные данные для городских климатических исследований
- Практические приложения знаний о городском климате





The end

Вопросы?

Командное задание

Командное задание

Мозговой штурм на тему «Как знания о городском климате можно использовать для решения проблем населения и экономики?»

Работая в командах по 3-4 человека, необходимо:

- Сформулировать проблему, которая:
 - имеет социально-экономическое значение для крупных современных городов (важна для населения / инфраструктуры / бизнесе и т.д.)
 - решение которой может требовать знания о погоде и/или климате
 - эффективность решения которой можно повысить, есть получить детальные данные о погоде и климате в городе X
- Сформировать, какой именно эффект (финансовый, экологический и пр.) может быть достигнут
- Предложить, как можно получить необходимые метеорологические данные
- Исходить из следующих предположений: город X с населением более 100К человек расположен в умеренных или субарктических широтах одной из развитых стран; не учитывается в моделях прогноза погоды и климата, данные метеорологических наблюдений есть только для загородной метеостанции.
- Подготовить про все это краткое устное сообщение (не более 5 минут)



Пример: проблема подачи необходимого для отопления города количества тепла котельными и ТЭЦ

Домашнее задание

- С учетом опыта сегодняшнего мозгового штурма, необходимо написать эссе на эту же тему («Как знания о городском климате можно использовать для решения проблем населения и экономики?»)
- Отличия от сегодняшнего задания:
 - Необходимо использовать материалы из двух следующих лекций («Мониторинг городского климата», «Моделирование городского климата»).
 - Необходимо использовать ссылки на российскую и зарубежную литературу
- Ориентировочный объем эссе ≈5 стр.
- Использование генеративных нейросетей допускается, но должно быть явно указано
- Срок сдачи – через месяц (12 февраля)