



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Курс «Моделирование климата городов», лекция №10

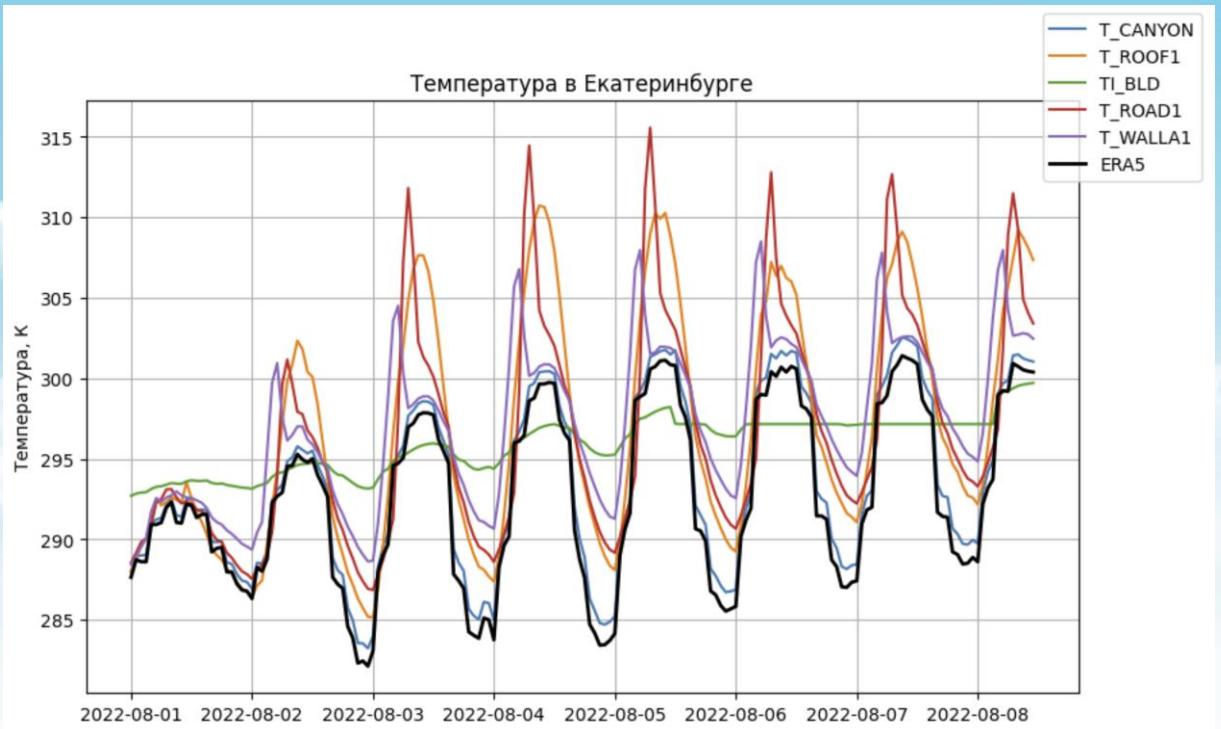
Микромасштабные модели

Модели и градостроительное планирование

Михаил Иванович Варенцов

mvarentsov@hse.ru

Разбор PW3



Было:

Городской растительности 11% ячейки, ZGARDEN=0.11

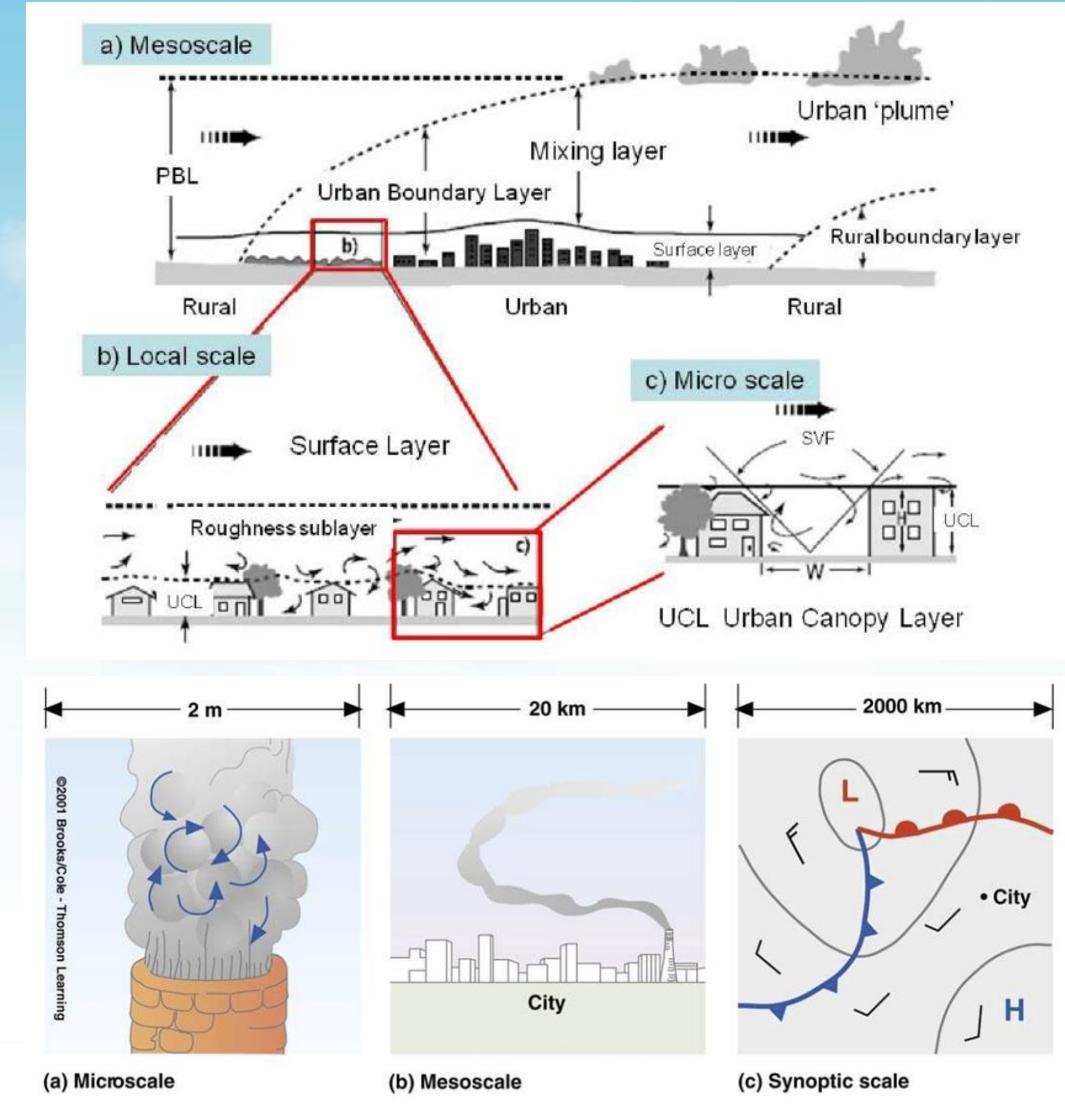
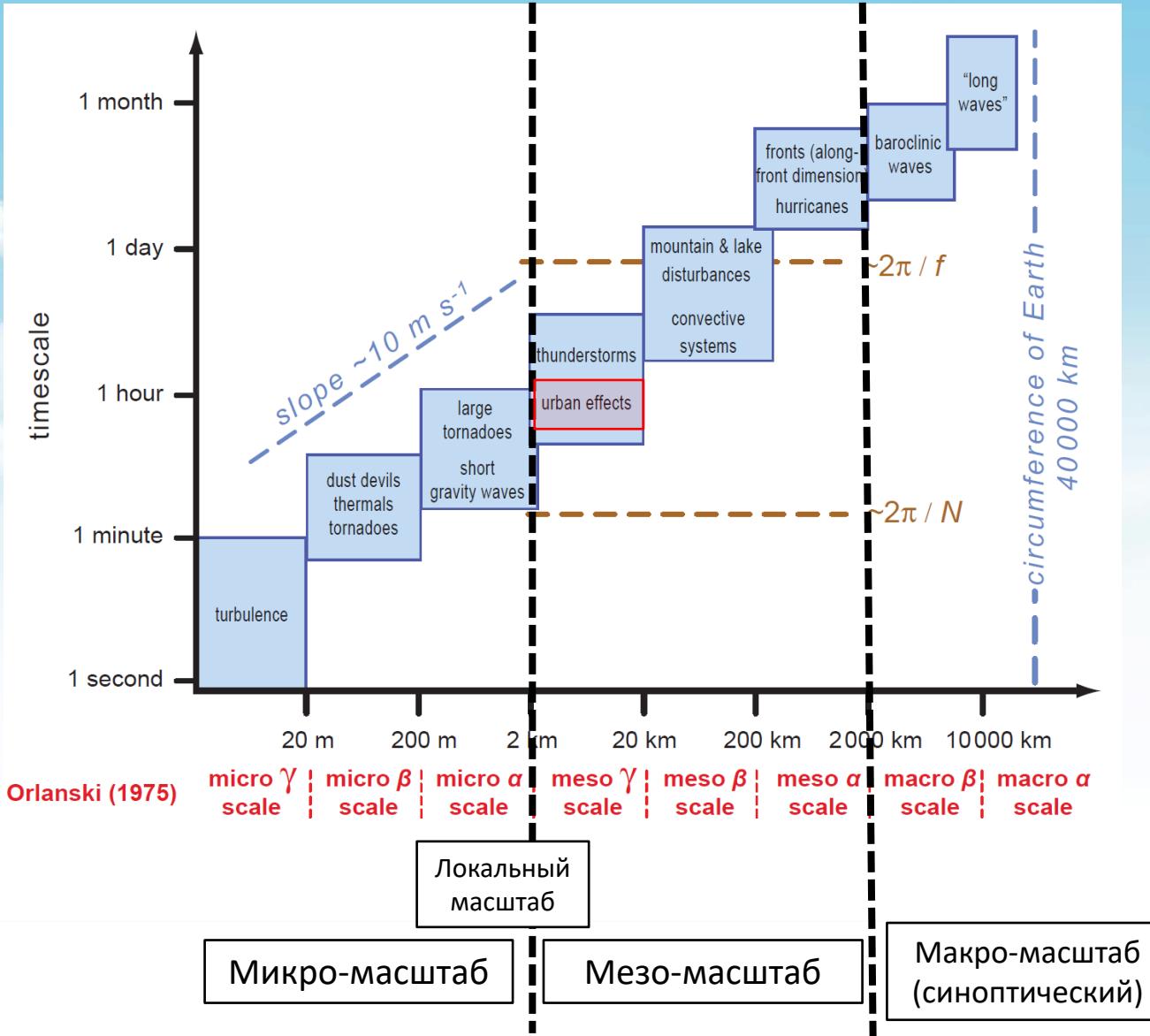
Теперь:

Часть дороги отводим в пользу растительности и достигаем 30% ячейки при застройке зданиями в 62% площади ячейки.
ZGARDEN=0.3



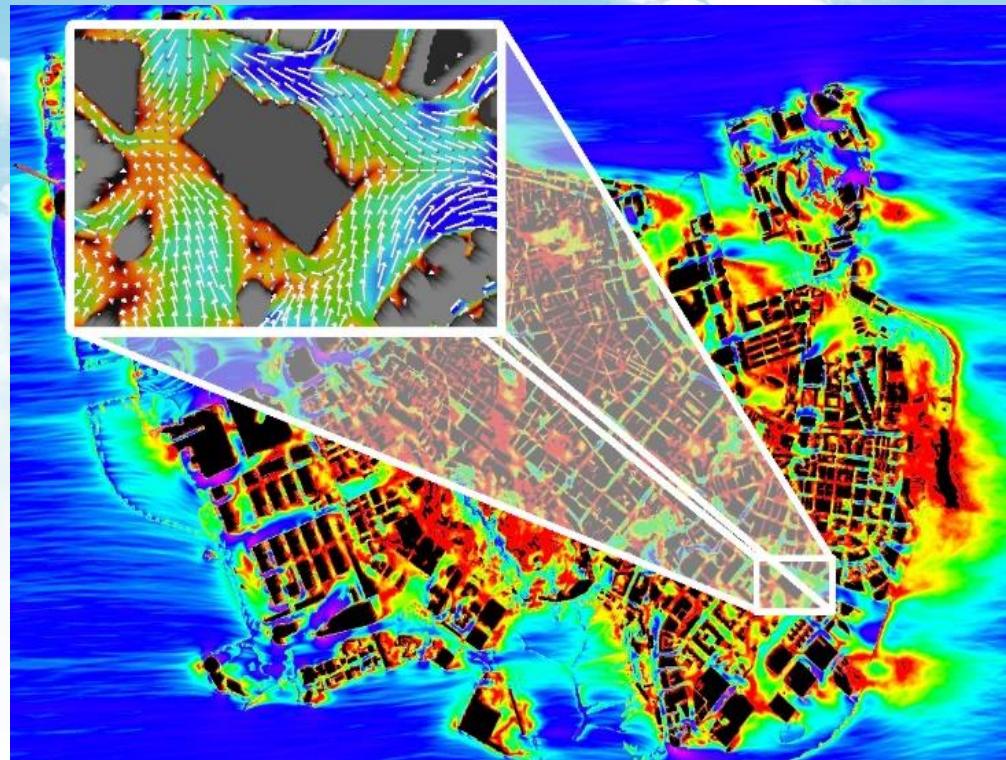
Микромасштабные модели

Процессы и модели разных масштабов



Процессы и модели разных масштабов

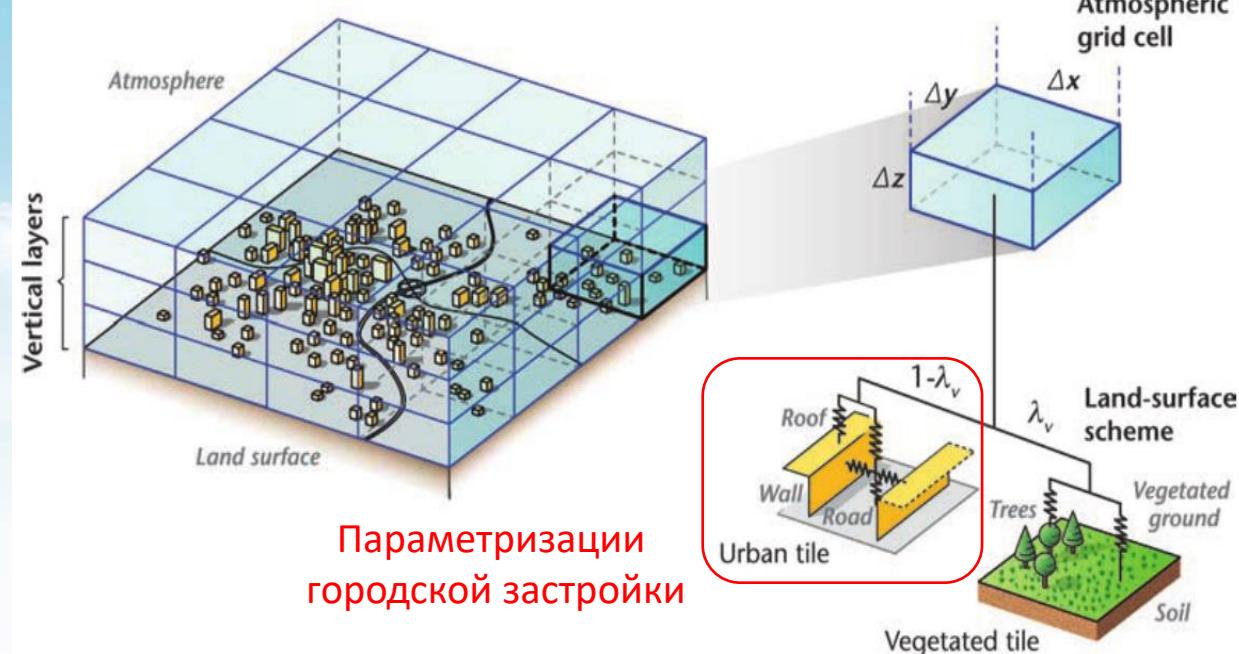
Микромасштабные модели (шаг сетки: первые метры)



ENVI-MET

Мезо/макро-масштабные модели

(шаг сетки: первые сотни метров – десятки километров)

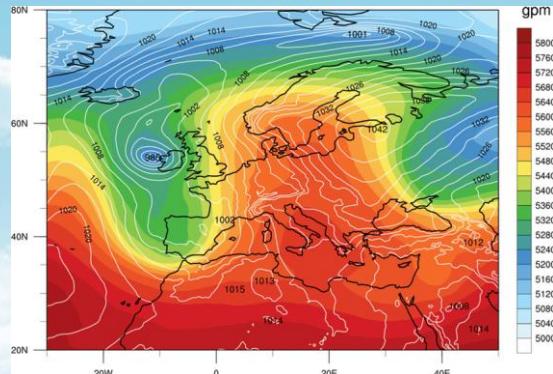


Параметризации
городской застройки

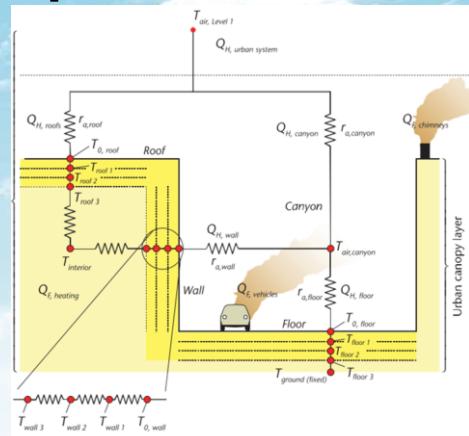


Процессы и модели разных масштабов

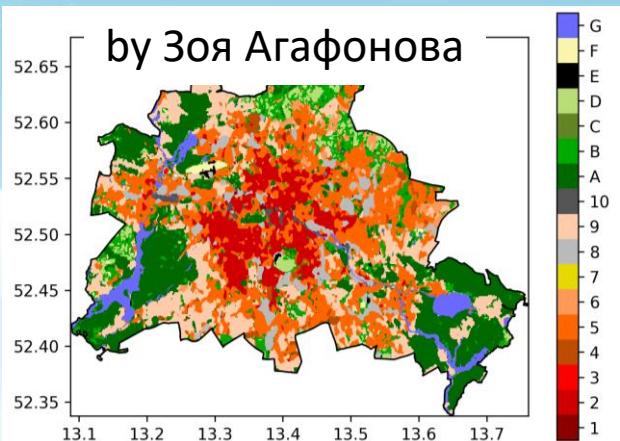
Макро-масштаб
(синоптический)



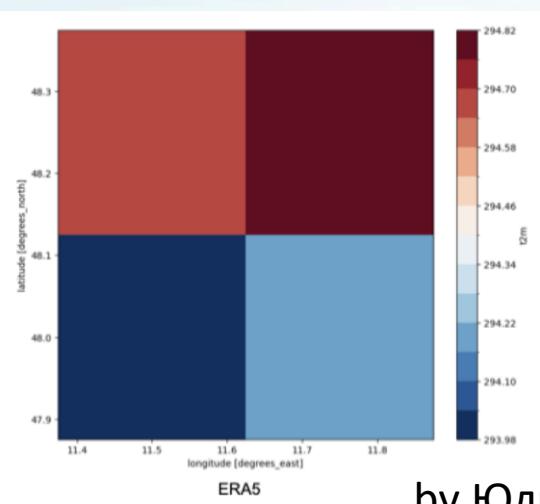
Мезо-масштаб



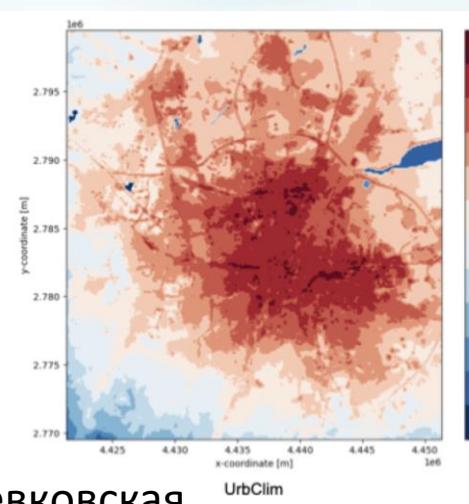
by Зоя Агафонова



Микро-масштаб

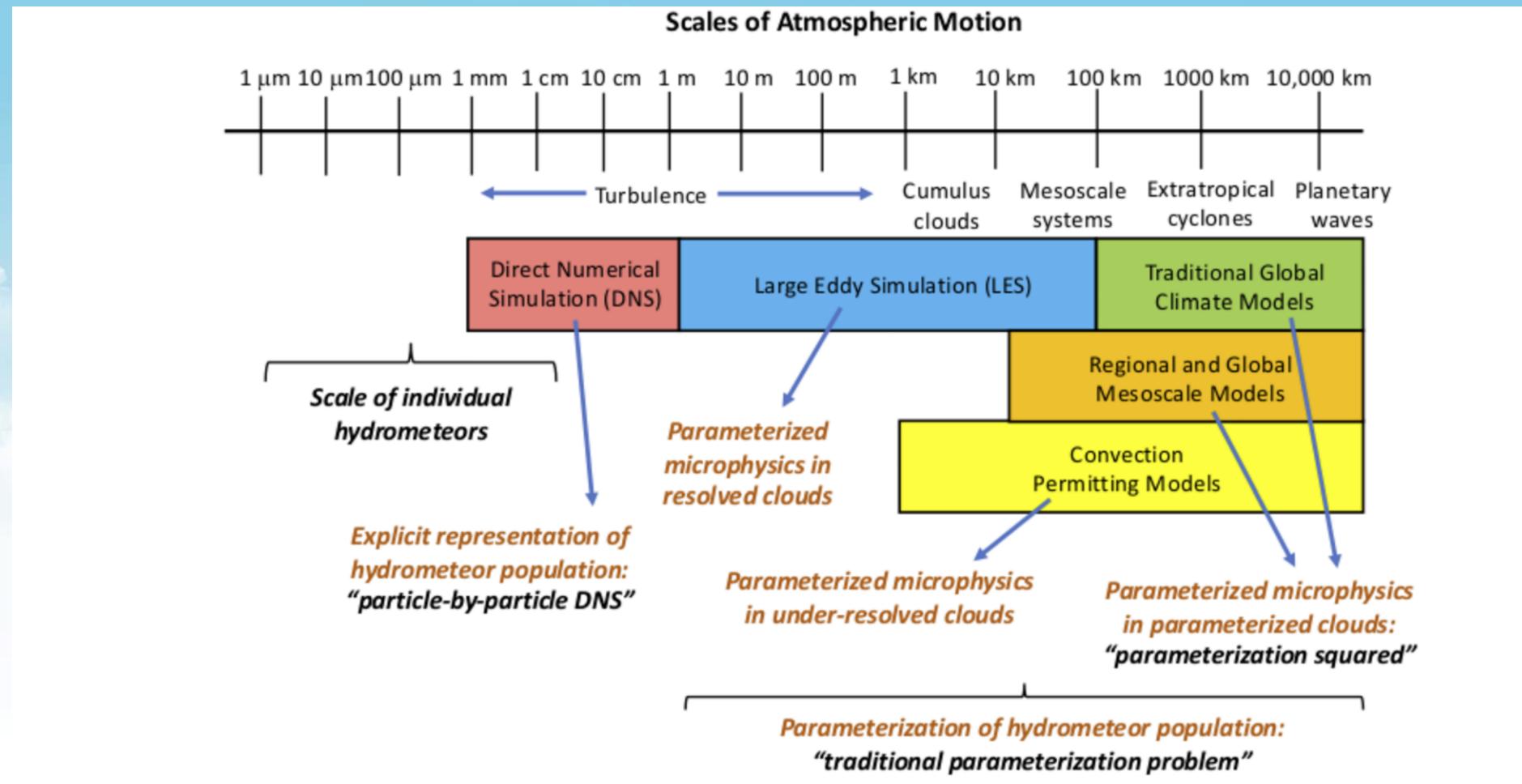


by Юлия Левковская

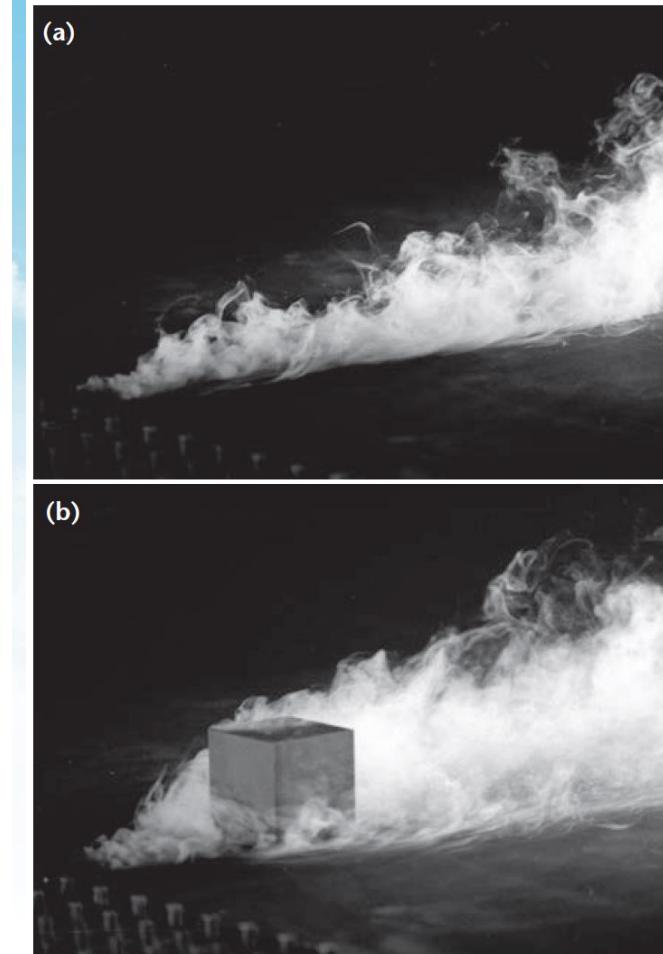
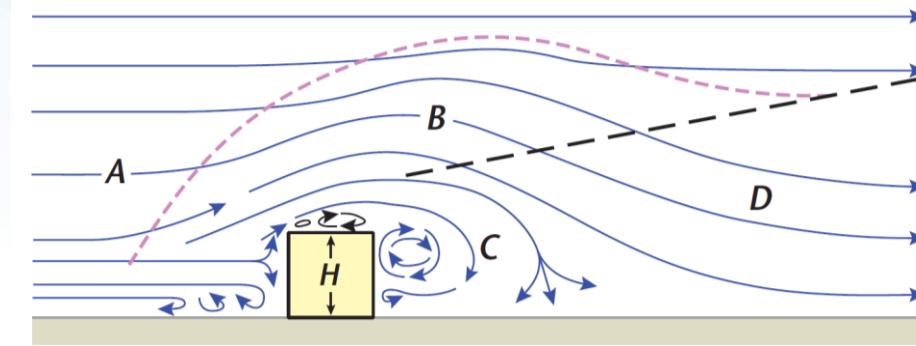
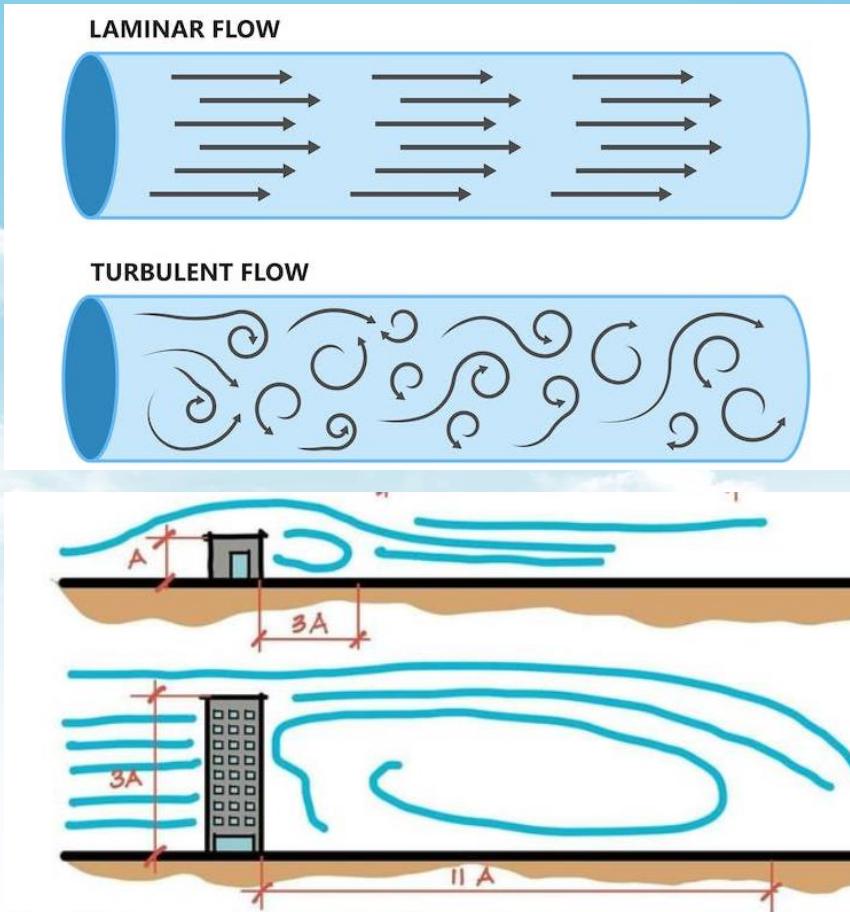


UrbClim

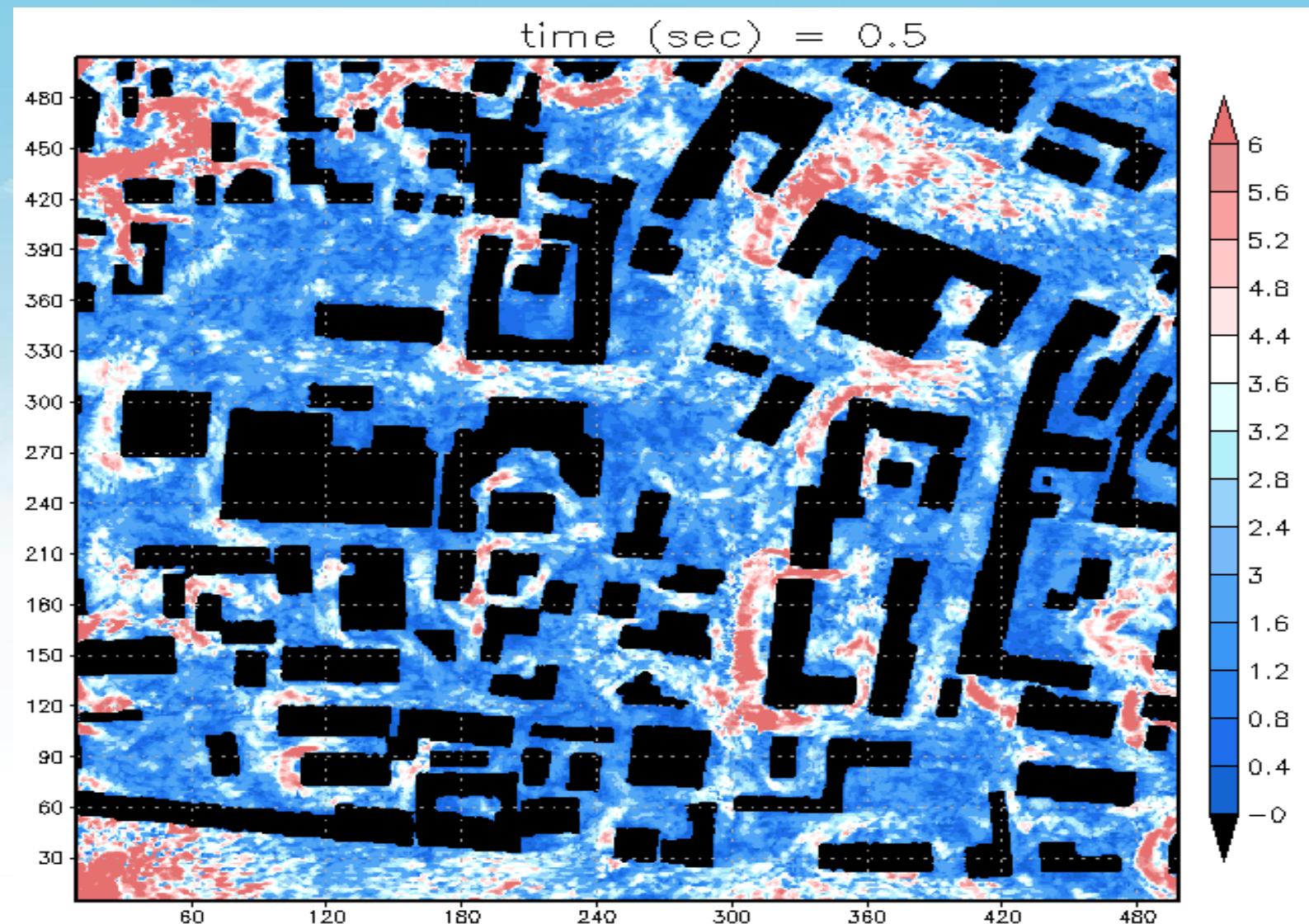
Процессы и модели разных масштабов



Ветер и турбулентность в городе



Ветер и турбулентность в городе



Микромасштабные модели атмосферы

□ DNS (Direct Numerical Simulations)

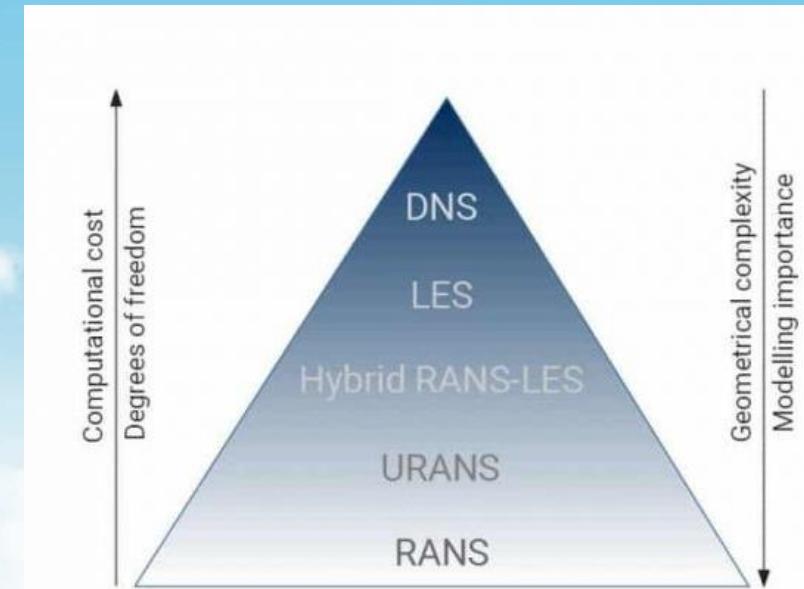
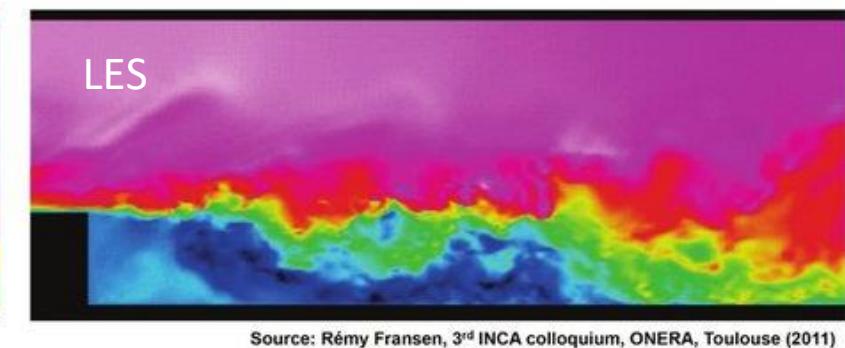
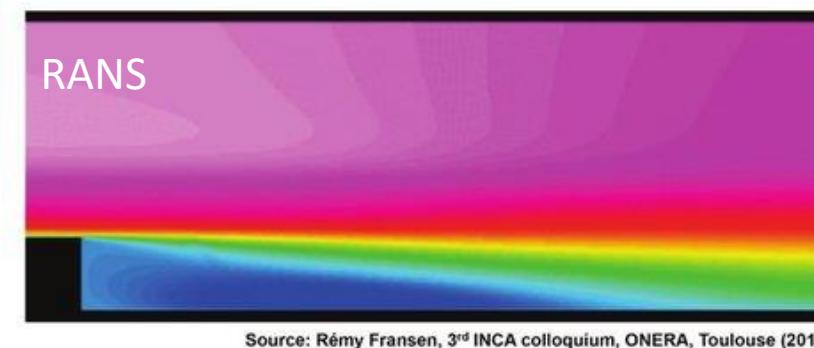
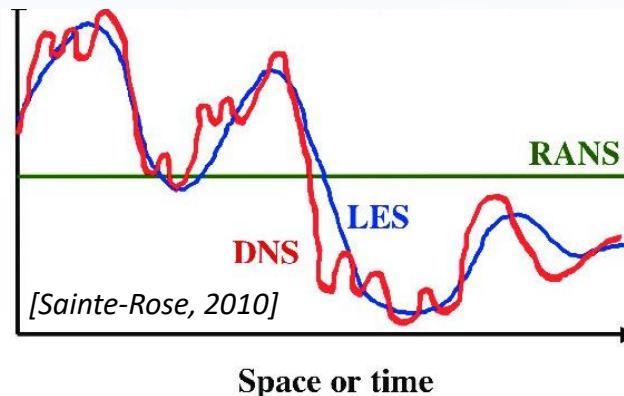
- Уравнения Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости
- Все масштабы течения разрешаются явно

□ LES (Large Eddy Simulations)

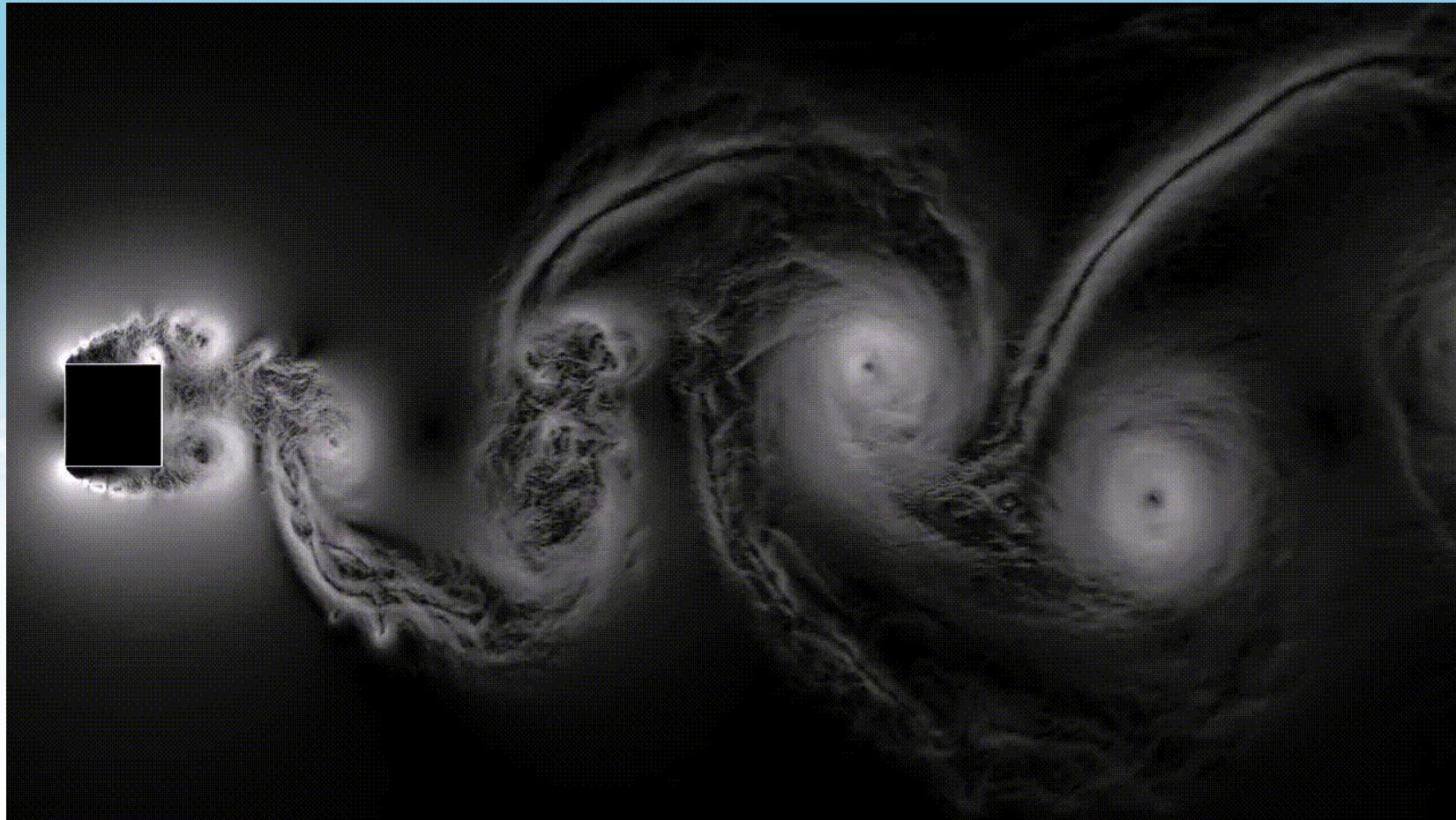
- Фильтрованные уравнения Навье-Стокса
- Мелкие вихри параметризуются (используется турбулентное замыкание), крупные воспроизводятся явно

□ RANS (Reynolds Averaged Numerical Simulations)

- Система уравнений Навье-Стокса в осреднении Рейнольдса
- Все турбулентные вихри параметризуются



DNS модели



Trias et al., 2014. Turbulent flow around a square cylinder at Reynolds number 22000: a DNS study

LES и RANS модели

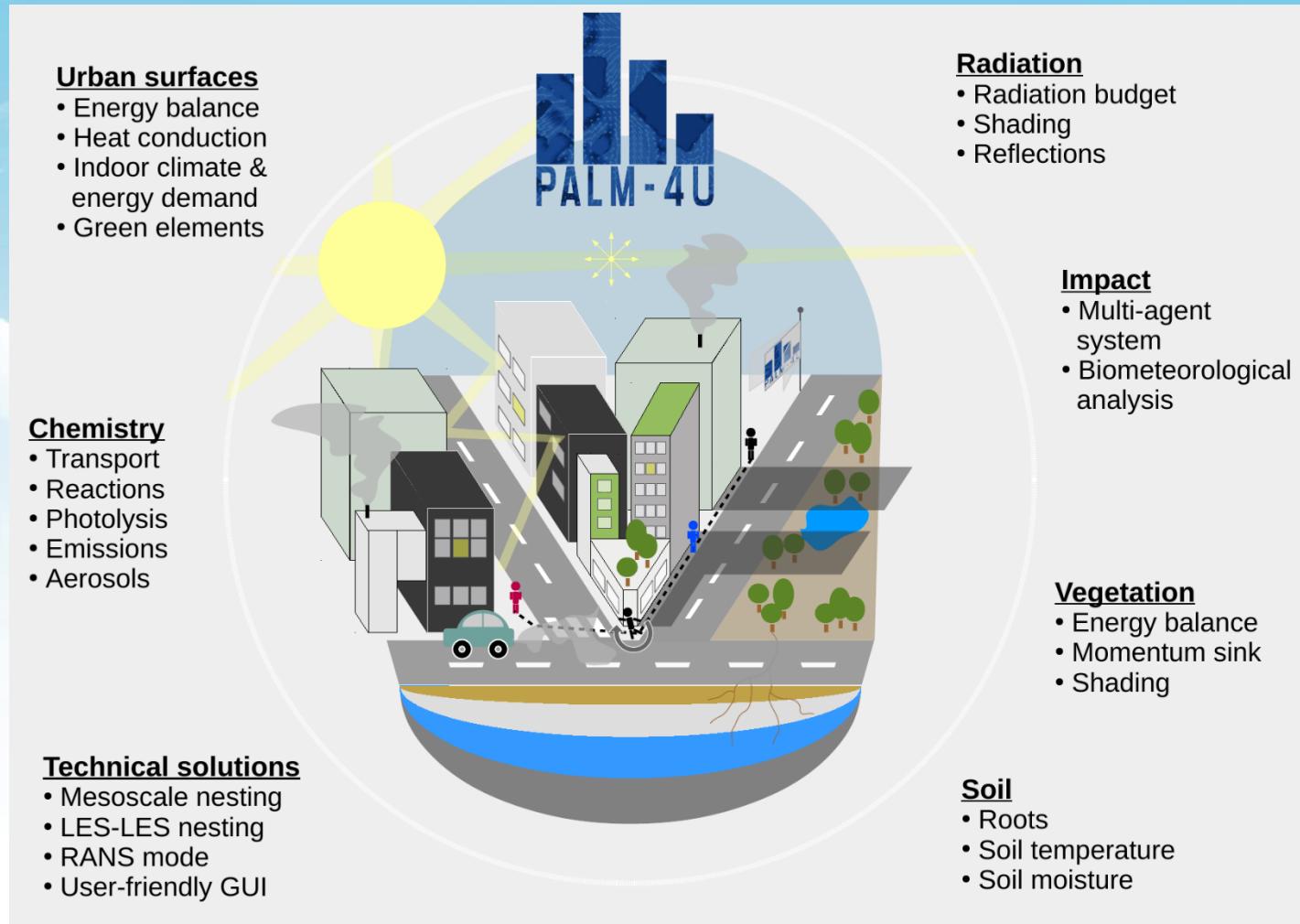


<https://youtu.be/lkVfbJmWhk4>

Модели PALM & PALM-4U

PALM (Parallelized Large-eddy Simulation Model)

- Развивается в университете Ганновера
- Open-source ПО
- LES/RANS режимы
- В версию PALM-4U интегрированы модели радиации, теплового баланса зданий, почвы, растительности, переноса загрязнений, термического комфорта
- Реализация под Linux, ориентирована на мощные суперкомпьютеры
- Отдельные блоки имеют графический интерфейс
- <https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/palm4u>



Модели PALM & PALM-4U

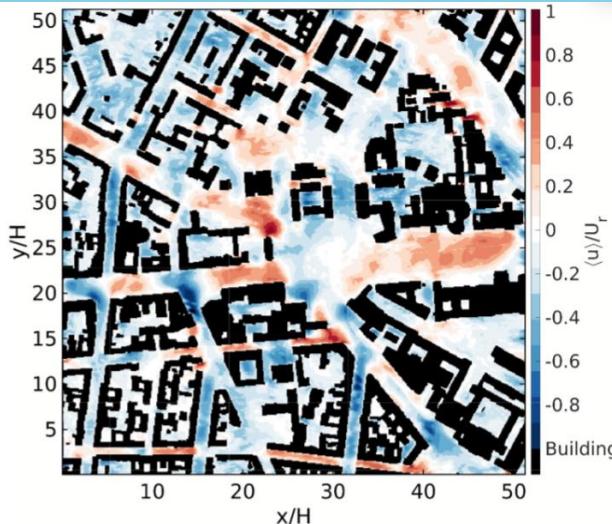


Fig. 3. Wind component v in the simulated area (Ernst-Reuter-Platz, Charlottenburg, Berlin) during a summer day.

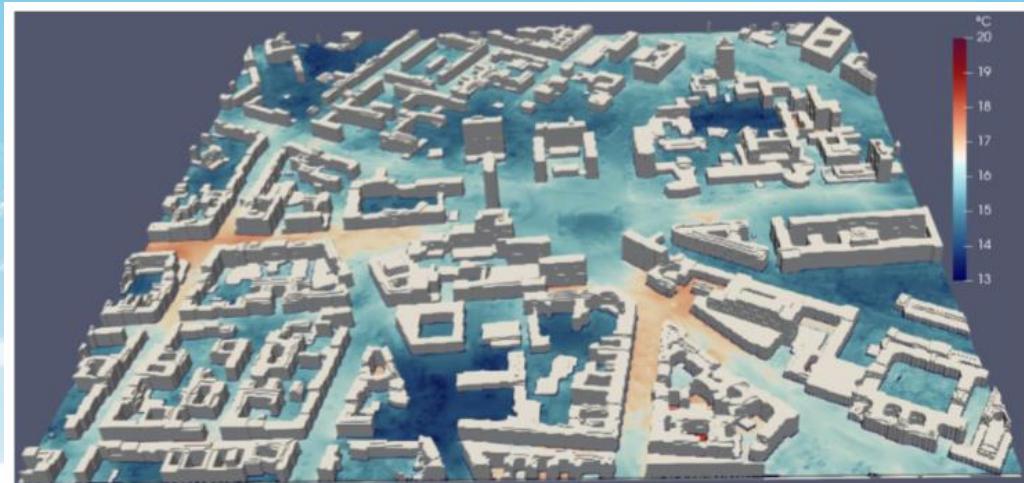


Fig. 5. Near surface air temperature in the simulated domain (Ernst-Reuter-Platz in Charlottenburg, Berlin) during a summer night.

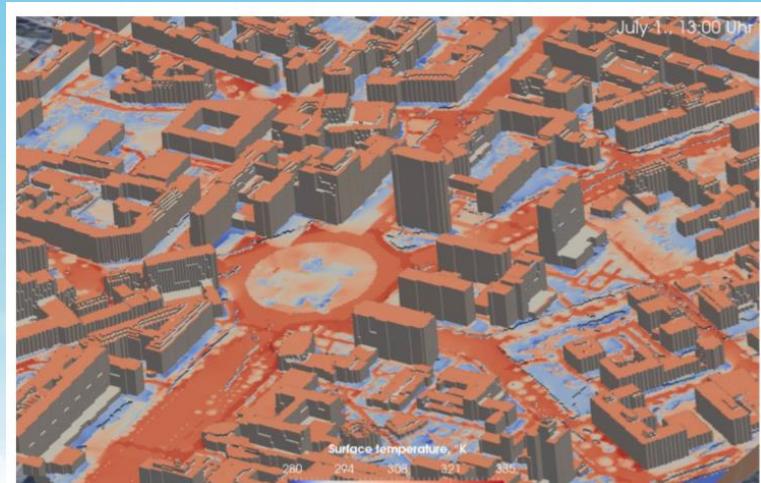
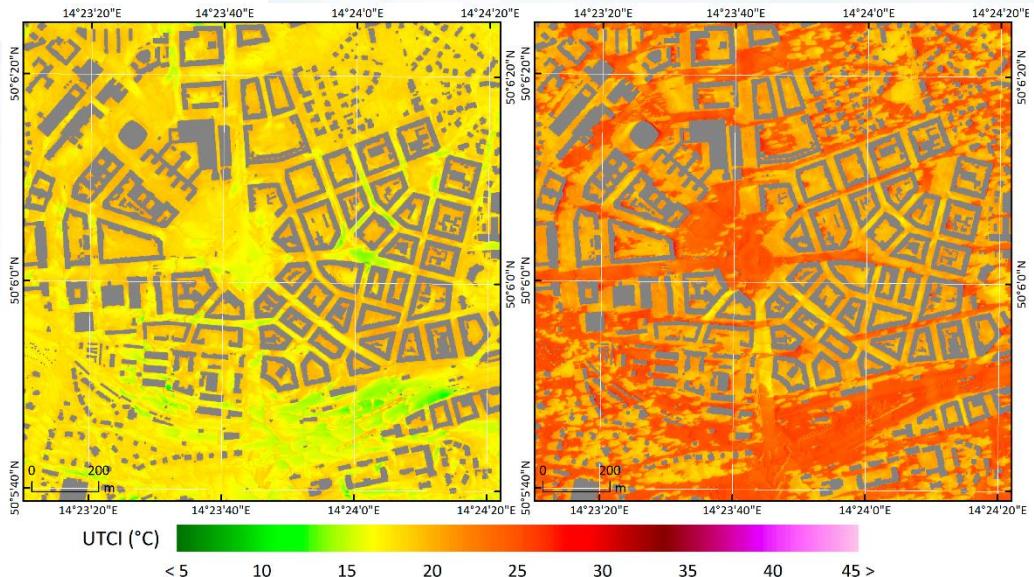


Fig. 6. Surface temperature of a focus domain in the simulated area (Ernst-Reuter-Platz in Charlottenburg, Berlin) during a summer day at 13:00.

Salim et al (2020). Introducing the Urban Climate Model PALM System 6.0. *International Journal of Applied Energy Systems*, 2(1), 15–18.
<https://doi.org/10.21608/IJAES.2020.169937>

Geletič et al (2021). High-Resolution Modelling of Thermal Exposure during a Hot Spell: A Case Study Using PALM-4U in Prague, Czech Republic. *Atmosphere*, 12(2), 175. <https://doi.org/10.3390/atmos12020175>



Модели PALM & PALM-4U

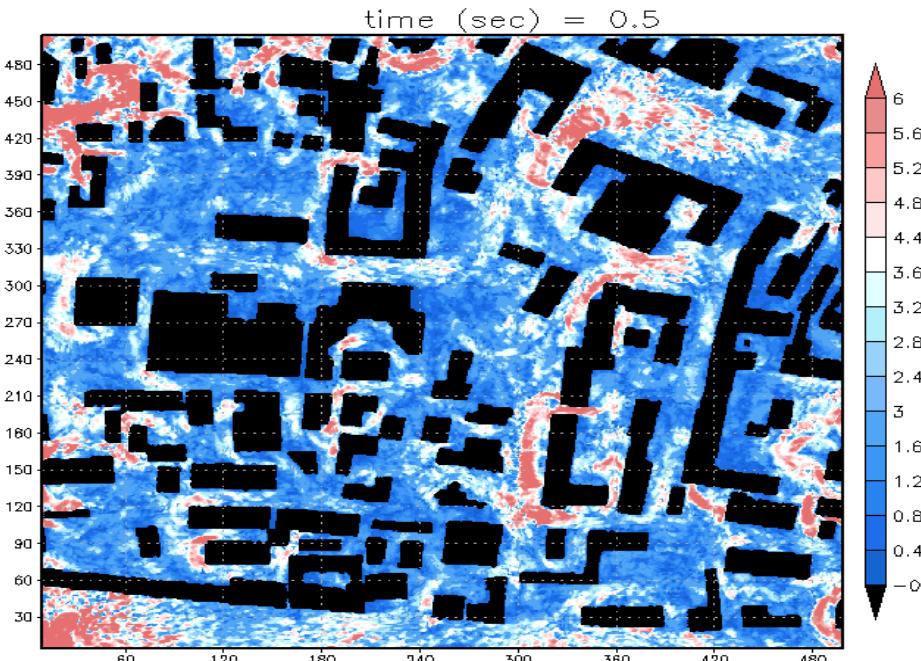


<https://youtu.be/y1sSRXFBN7k>

Модели НИВЦ МГУ & ИВМ РАН

Вихреразрешающая модель атмосферы ИВМ РАН

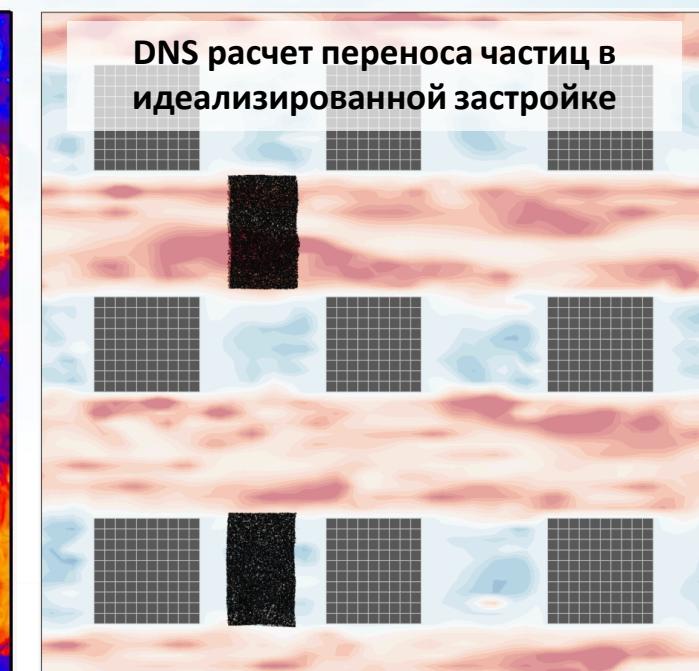
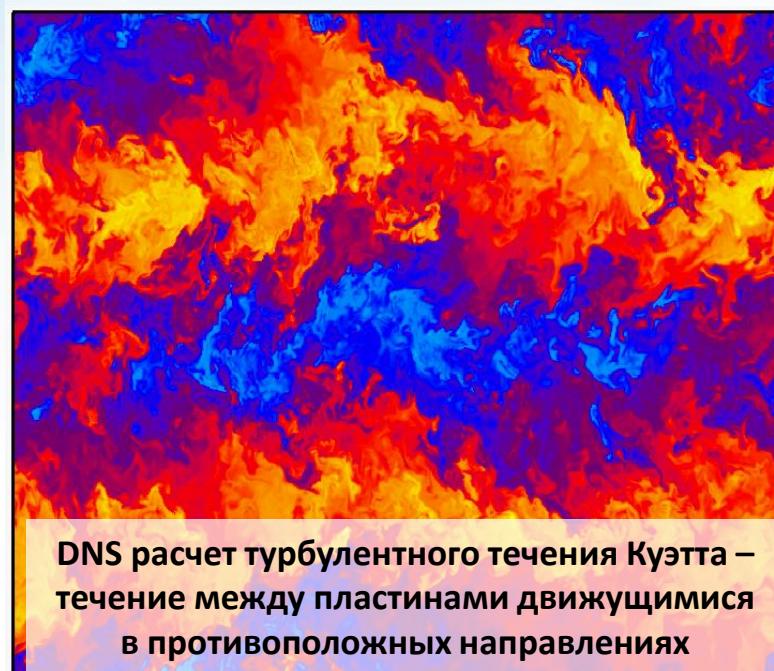
(Глазунов и др., 2014; Glazunov et al., 2016)



Турбулентность в городской застройке
(район м. Третьяковская)

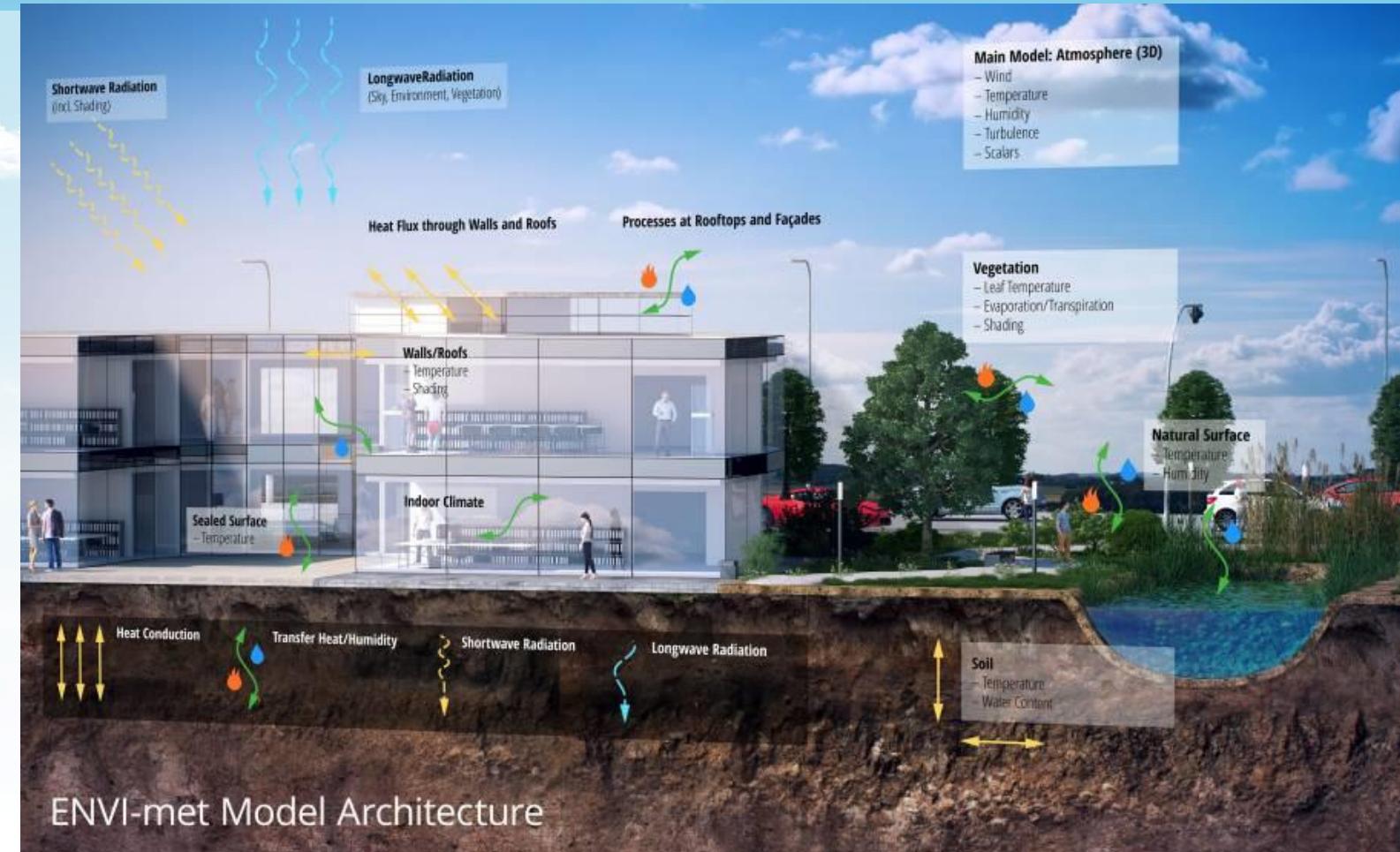
Унифицированная модель турбулентных течений НИВЦ МГУ (Mortikov et al., 2021)

- Open-source ПО, развивается в лаборатории математического моделирования пограничных слоев НИВЦ МГУ,
руководитель [E.B. Мортиков \(evgeny.mortikov@gmail.com\)](mailto:evgeny.mortikov@gmail.com)
- DNS/LES/RANS режимы
- Под Linux и суперкомпьютеры, без графического интерфейса
- Доступ к коду: [http://tesla.parallel.ru/users/sign in](http://tesla.parallel.ru/users/sign_in)

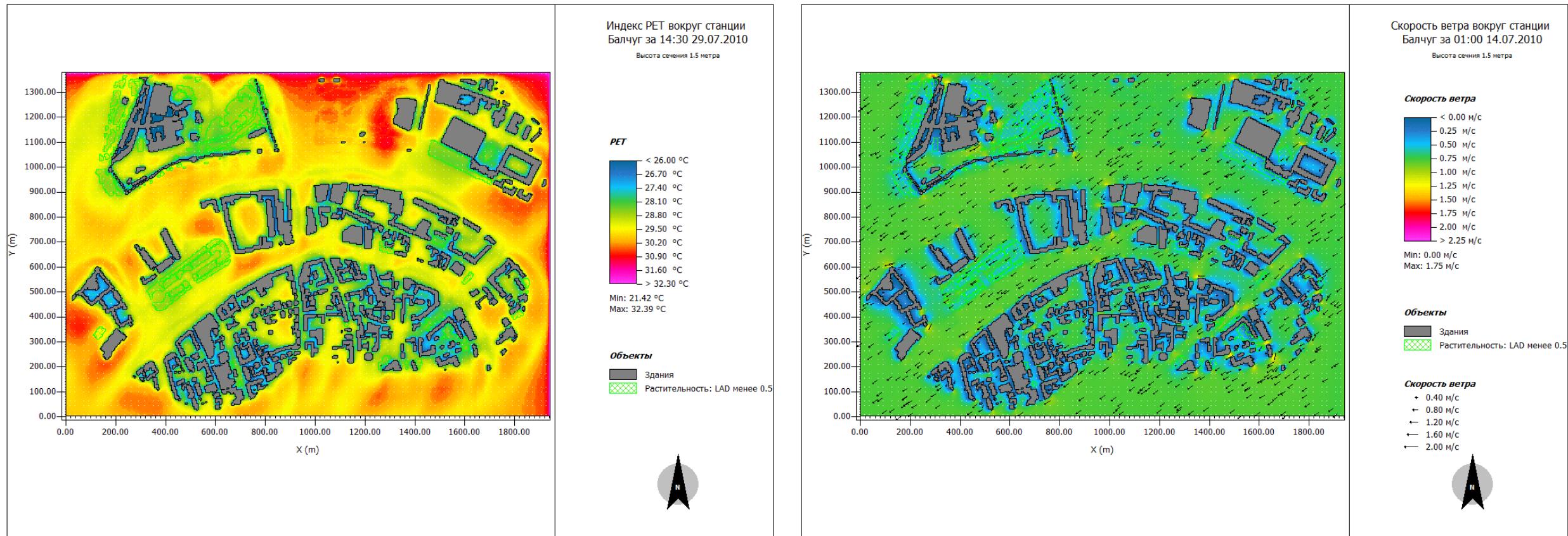


Модель ENVI-met

- Коммерческое ПО, есть демо-версия с ограничениями
- RANS модель атмосферы
- Интегрированы модели радиации, теплового баланса зданий, почвы, растительности, переноса загрязнений, термического комфорта
- Реализация под Windows, применение только на ПК
- Полностью графический интерфейс
- <https://www.envi-met.com/>



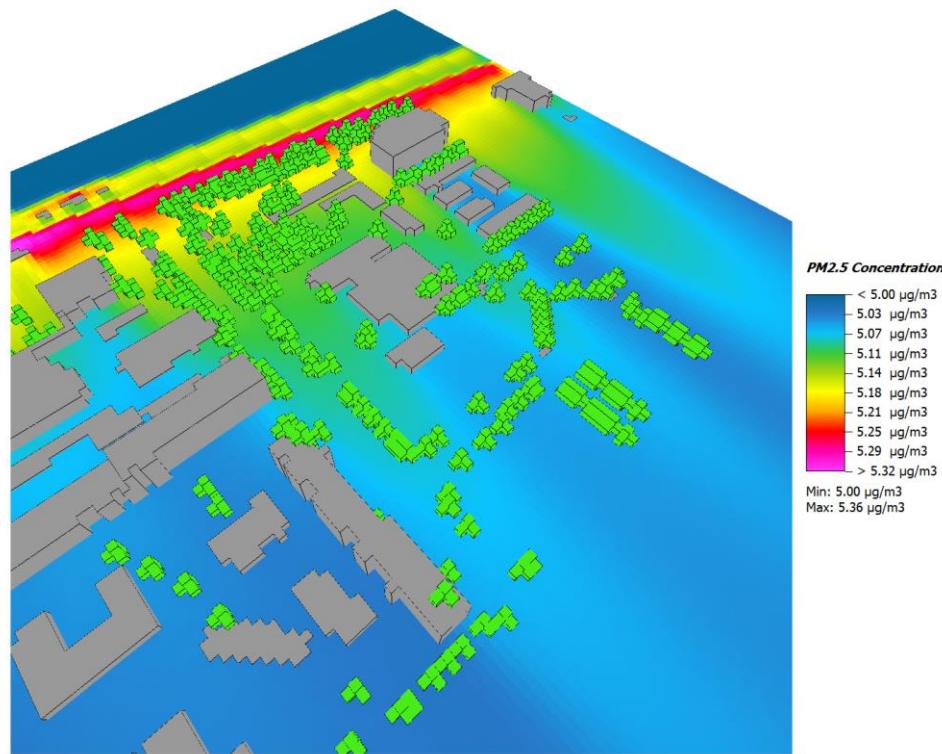
Модель ENVI-met: примеры



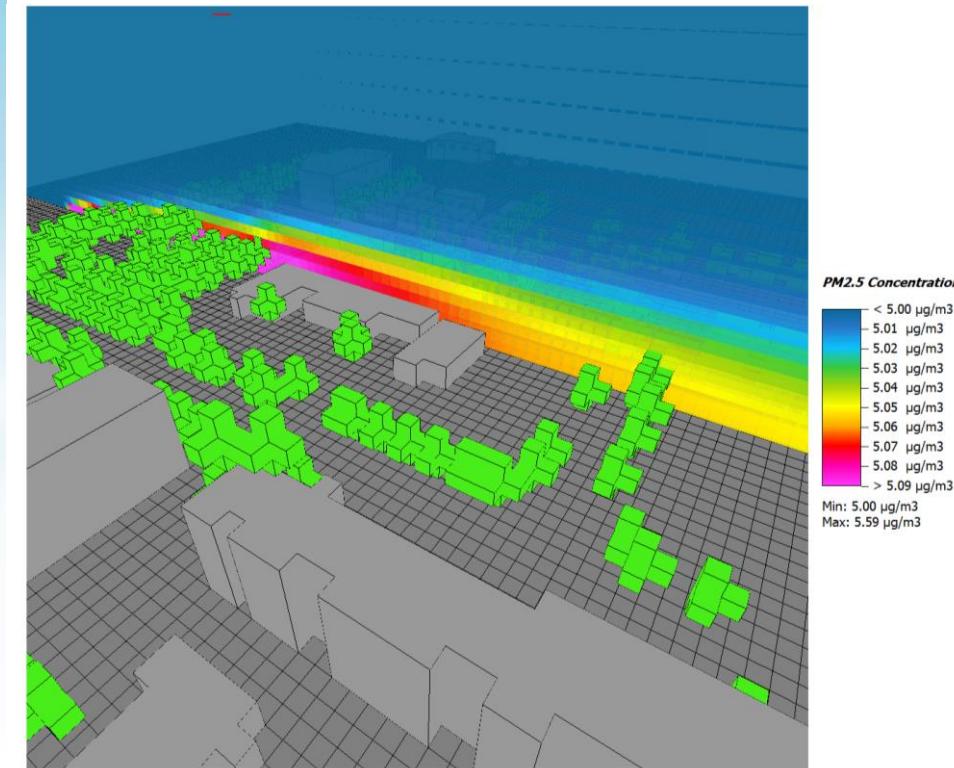
Пример расчетов с ENVI-met для центра Москвы, района метеостанции Балчуг
Результаты [Алена Коспанова](#) (географический факультет МГУ)

Модель ENVI-met: примеры

Распространение аэрозолей от
Мичуринского проспекта



Вертикальный срез через
метеообсерваторию



Пример расчетов с ENVI-met для района метеорологической обсерватории МГУ
Результаты [Александра Варенцова](#) (НИВЦ & географический факультет МГУ)

Модель ENVI-met: начало работы

The screenshot shows a video player interface with a sidebar on the left and a main content area on the right.

Sidebar (Left):

- Title:** ENVI_MET: Getting Started
- Uploader:** ENVI-met GmbH
- Views:** 7 видео 1 666 просмотров
- Last Update:** Обновлен 18 февр....
- Controls:** Three circular icons (ellipsis, play, and more options).
- Buttons:** "▶ Воспроизв..." and "🔀 Перемешать".
- Description:** Welcome to our introductory series for ENVI-met. If you're new to the software, these videos are a great place to start. We'll guide you through the basic steps, from downloading ENVI-met to your first simulations. Our tutorials are designed to be easy to follow, ensuring you

Main Content Area (Right):

Номер	Название	Описание
2	Getting Started Part 6 - Setting Up and Initiating Simulations	ENVI-met GmbH • 2 месяца назад • 624 просмотра 3:18
3	Getting Started Part 5 - Digitization with SPACES	ENVI-met GmbH • 2 месяца назад • 674 просмотра 4:56
4	Getting Started Part 4 - Navigating the Database Manager	ENVI-met GmbH • 2 месяца назад • 463 просмотра 3:49
5	Getting Started Part 3 - Deciphering the Database Logic	ENVI-met GmbH • 2 месяца назад • 396 просмотров 2:22
6	Getting Started Part 2 - Creating Your Workspace	ENVI-met GmbH • 2 месяца назад • 458 просмотров 1:39
7	Getting Started Part 1 - Introduction to the ENVI-met Workflow	ENVI-met GmbH • 2 месяца назад • 637 просмотров 3:02

Модель ENVI-met: начало работы

The screenshot shows the ENVI-met software interface. The main window title is "ENVI-met Headquarter". The top menu bar includes "ENVI-met", "Data and Settings", "System", and "Help". Below the menu is a toolbar with icons for "Monde", "Spaces", "ENVI-guide", "ENVI-core", "BIO-met", "Leonardo", and "Exit". A "Version" section on the right displays "ENVI-met 5 LITE" and links to "Upgrade your ENVI MET..." and "Check for the latest Version".

The main workspace is divided into sections: "Edit", "Simulate", "Process", "Visualize", and "Bye". The "Data and Settings" tab is currently selected. It contains icons for "Projects / Workspaces", "DB Manager", "Albero", and "Forcing Manager". The "Forcing Manager" section is expanded, showing a "Selected Project Workspace" path "D:\ENVImet5\workspace" and a sub-module "ForcingManager V5.6.1 [MyForcing.FOX]". This sub-module has tabs for "Start", "Data", and "Help", with "Data" being the active tab. Under "Data", there are buttons for "Import from CSV", "Import from EPW/TRY", "Import Weather Data", and "Export FOX to CSV". A blue arrow points from the "Import Weather Data" button towards a table below.

A table at the bottom of the screen displays weather data for January 12, 2022, across ten time steps (21:00, 21:30, 22:00). The columns include Date, Time, SW dir / low clouds, SW dif / med. clouds, LW / high clouds, Abs. Air Temperature, Rel. Humidity, Windspeed, Winddirection, and Precipitation.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Date	Time	SW dir / low clouds	SW dif / med. clouds	LW / high clouds	Abs. Air Temperature	Rel. Humidity	Windspeed	Winddirection	Precipitation	
2	12.01.2022	21:00:00		6	2	0	250.15	84	2	270	0
3	12.01.2022	21:30:00		6	2	0	250.15	77	2	247.5	0
4	12.01.2022	22:00:00		6	2	0	249.15	84	0	247.5	0

Модель ENVI-met: начало работы

ENVI-met DBManager 5.6.1

Database

- Reload Database
- Save Database
- Save User DB as...
- Save as DB Package...
- Import data to User DB...
- Import data to Clipboard...
- Save Clipboard Data as...
- Close Clipboards

Data loaded from file: D:\ENVI\met5\sys.userdata\userdatabase.edb

Simple Plants

Database of plants with simple vertical geometry such as grass or crop.

Wall/Roof Materials

Basic materials used to compose walls and roofs.

Soils/ Ground Materials

Soil Profiles

Simple Plants

Wall/Roof Materials

Wall/Roof Constructions

User Plants

- System Plants
 - Agriculture
 - SO [0200SO] Soja 63cm
 - LG [0200LG] Luzerne 18cm
 - Facade Greening plants
 - Grass
 - X1 [0200X1] Grass 50 cm aver. dense
 - XX [0200X2] Grass 25 cm aver. dense
 - Hedges and others
 - H2 [0200H2] Hedge dense, 2m
 - H2 [0201H2] Hedge light, 2m
 - H1 [0200H1] Hedge dense, 1m
 - H1 [0201H1] Hedge light, 1m
 - H4 [0200H4] Hedge dense, 4m
 - H4 [0201H4] Hedge light, 4m
 - Legacy

Albero 5.6.1

Albero Plant Tools Database

- Add empty grid plant...
- Add rotation plant...
- Add new QSM (L) plant
- Create new plant group...
- Delete plant group
- Copy to User Database...
- Clone Plant
- Compost Plant

New Plants

Name Alternative Name

Filter: Filter by ID / Name

YZ View x=6

User 3D Plants

- System 3D Plants
 - Abstract
 - Specific
 - Legacy
- NN [0] Tilia cordata E

XY View z=6

Cursor: 6,10,6 LAD: + -

Soils/ Ground Materials

Soil Profiles

Simple Plants

Wall/Roof Materials

Wall/Roof Constructions

Circle of Life

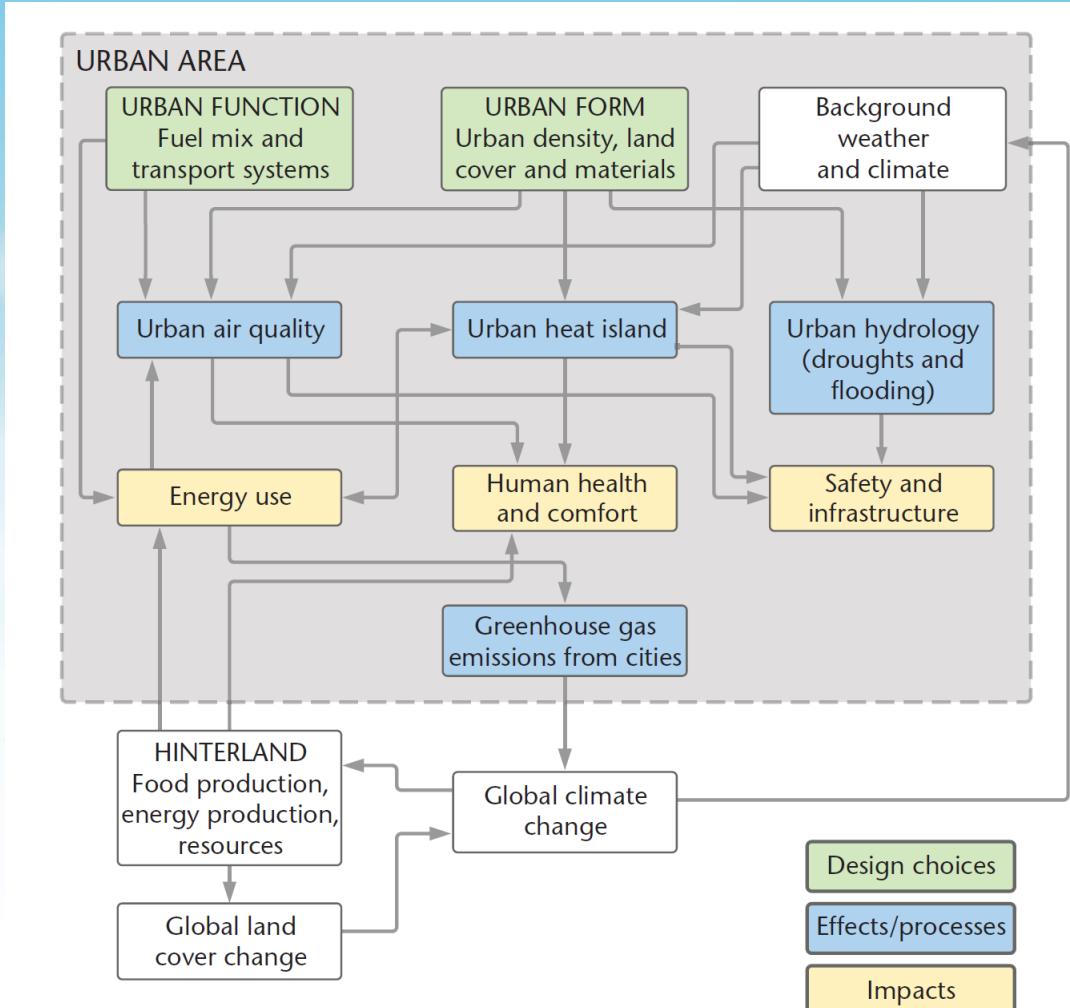
Модели и градостроительное планирование



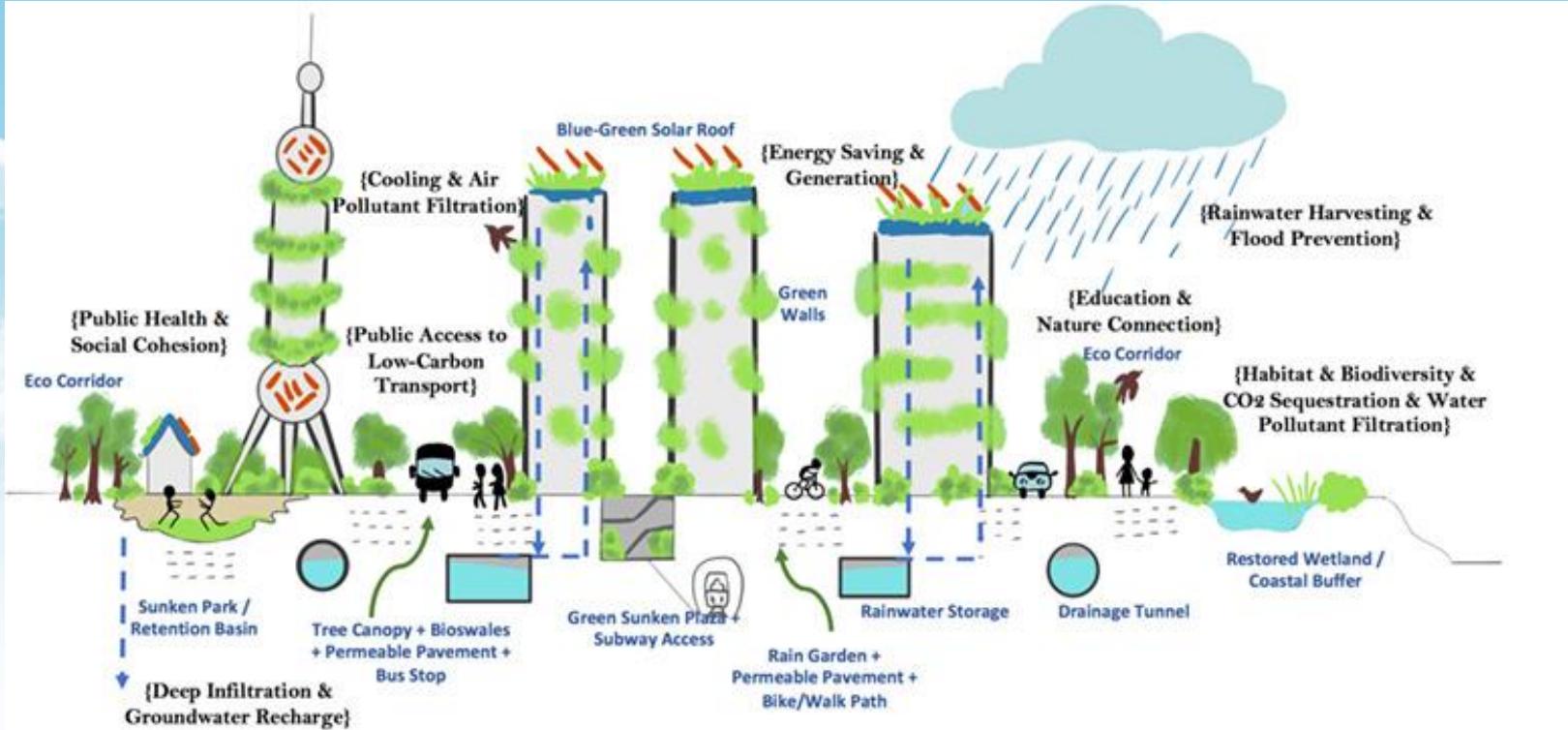
Климатически-ориентированное планирование



Figure 15.14 Facet interventions to manage water and energy exchanges. **(a)** Permeable paving using modular blocks (Credit: B. Wenk). **(b)** Permeable car park with a grass cover (Credit: A. Christen). **(c)** White painted rooftops or cool roofs New York (United States). (Credit: White Roofs Project). **(d)** An extensive green roof on Chicago City Hall, United States, as part of a cool roof project (Credit: Tony the Tiger, July 2008).



Водно-зеленая инфраструктура



Blue-Green Infrastructure for Climate Resilience and Urban Multifunctionality in Chinese Cities



Климатически-ориентированное планирование

Примеры задач для моделирования:

- Сравнение различных решений по смягчению климатических рисков (зеленая инфраструктура, белые крыши и пр.)
 - На масштабах улиц (микро-масштаб)
 - На масштабах города (мезомасштаб)
 - На масштабах континентов и всей Земли (макромасштаб)
- Выбор оптимальной пространственной конфигурации зданий
- Оптимизация теплоснабжения и энергопотребления

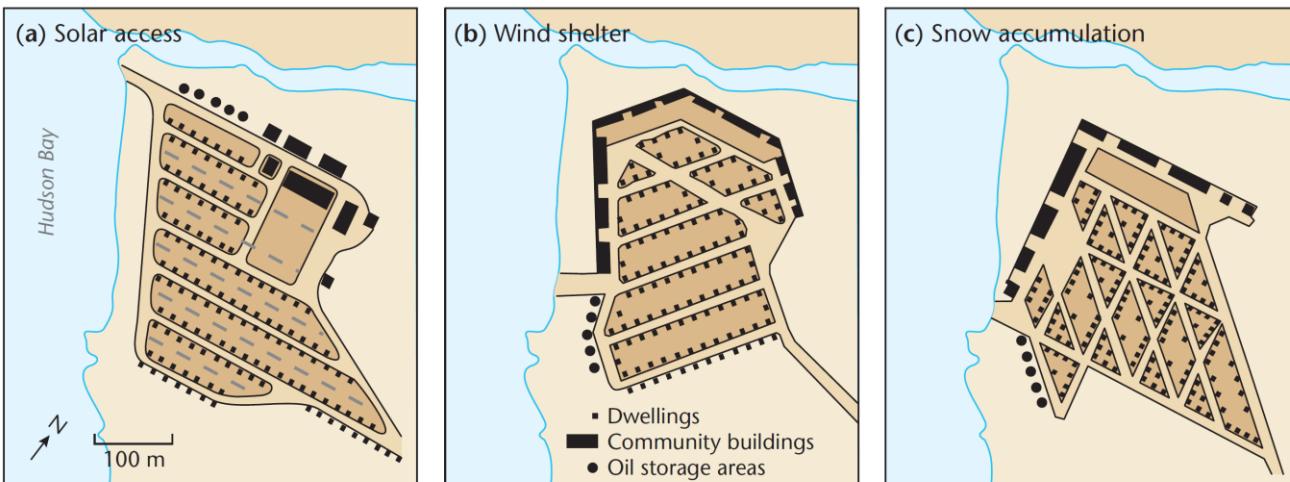
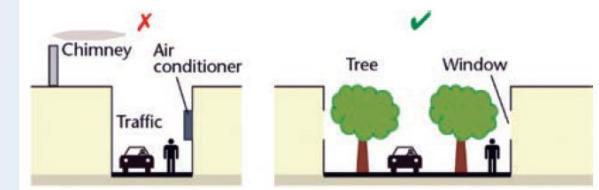


Figure 15.6 Three town plans for a high-latitude settlements developed to meet different climate objectives with regard to (a) solar access, (b) wind shelter and (c) snow accumulation. A final plan should be a synthesis of the three alternatives through negotiation and resolution of conflicts (Modified after: Zrudlo, 1988).

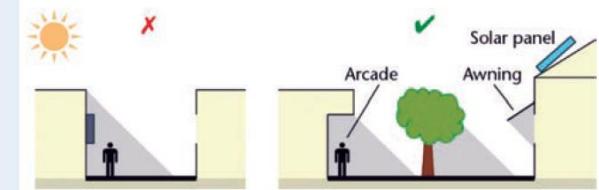
Air Quality control

The simplest means of improving air quality is to reduce emissions. Poorer street level air quality occurs in poorly ventilated streets with heavy traffic. Wider streets and well positioned trees can improve ventilation and screen pedestrians and buildings from emissions.



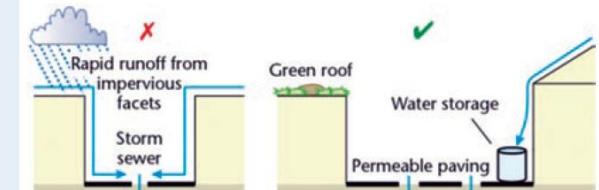
Solar control

Street geometry regulates access to Sun. Trees and arcades can provide additional shade outdoors. Solar gain to buildings can be managed with trees and awnings. Where solar gain is desirable, overshadowing should be minimized. rooftops provide ideal location for solar gain if not overshadowed.



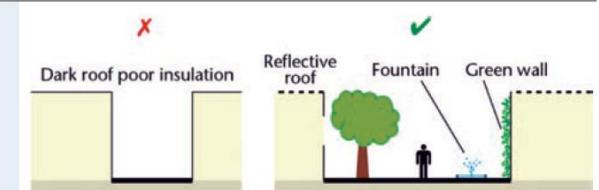
Runoff control

Runoff can be managed by increasing the capacity to detain rainwater, adding vegetation and enhancing the permeability of street facets. Green roofs can provide insulation for buildings and some evaporative control but may require that roofs are strengthened to cope with additional weight.



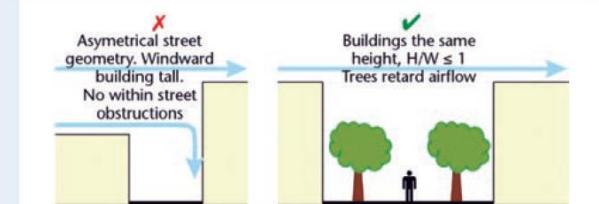
Temperature control

Daytime surface temperature can be managed through shading of facets and controlling reflectivity. Fountains can be employed when needed to provide evaporative cooling. Green facets will reduce surface temperature and trees can provide both shade and



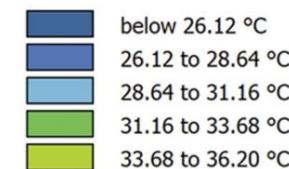
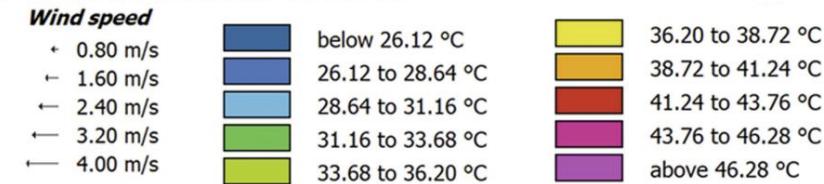
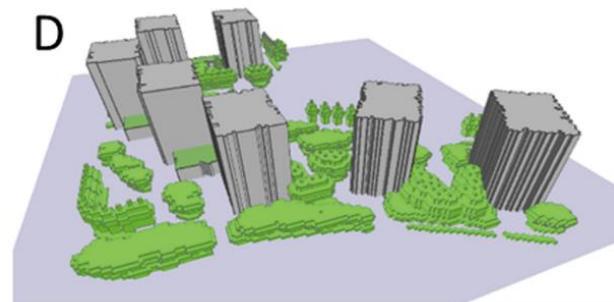
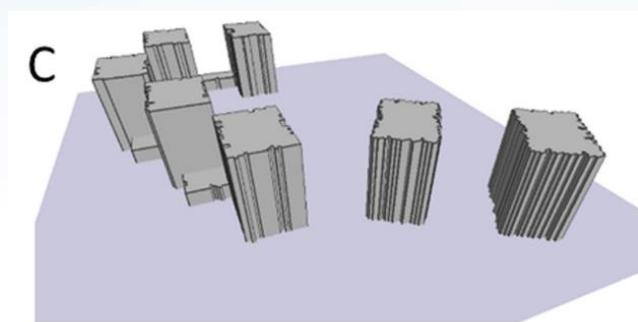
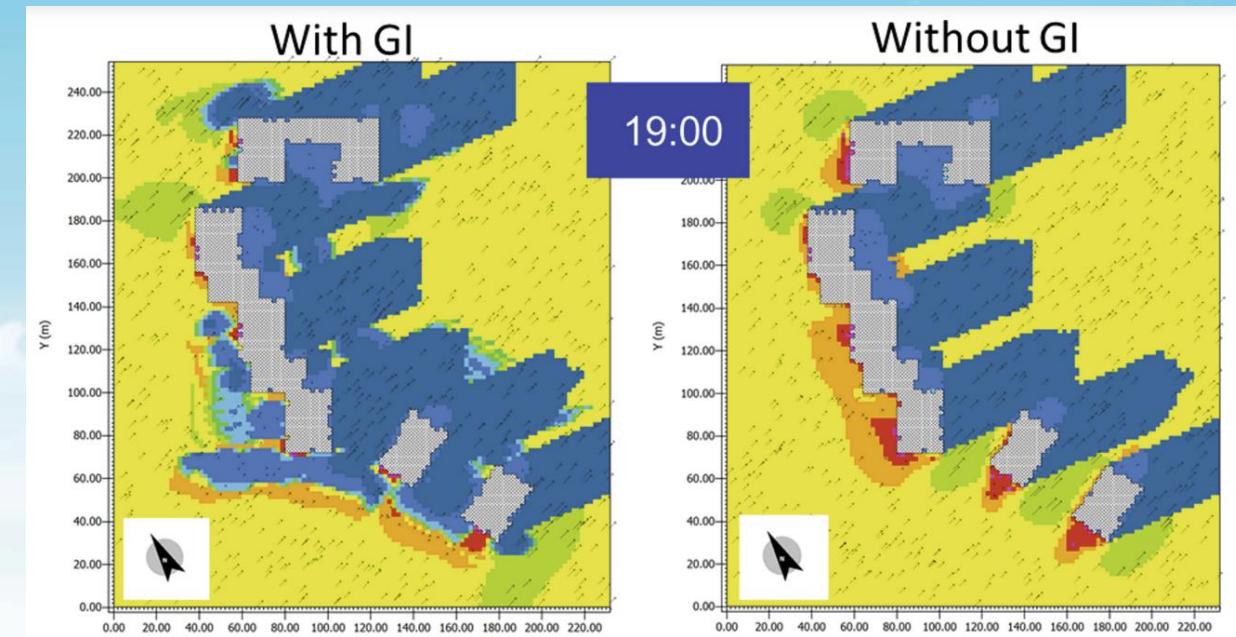
Wind control

Wind shelter within the urban canopy is controlled by ambient wind velocity and street design. When airflow is perpendicular to the street axis, tall buildings will draw faster moving air to ground level while closely spaced buildings of even height provide shelter.



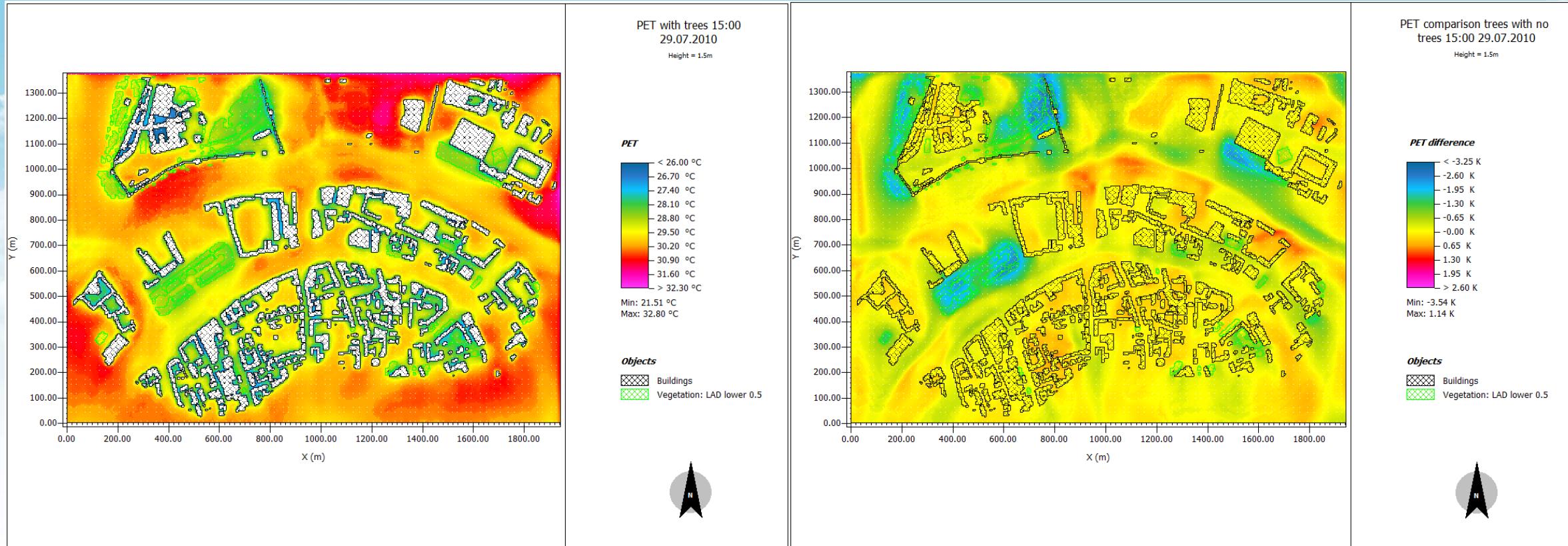
Модели и градостроительное планирование

Микромасштабное моделирование



Модели и градостроительное планирование

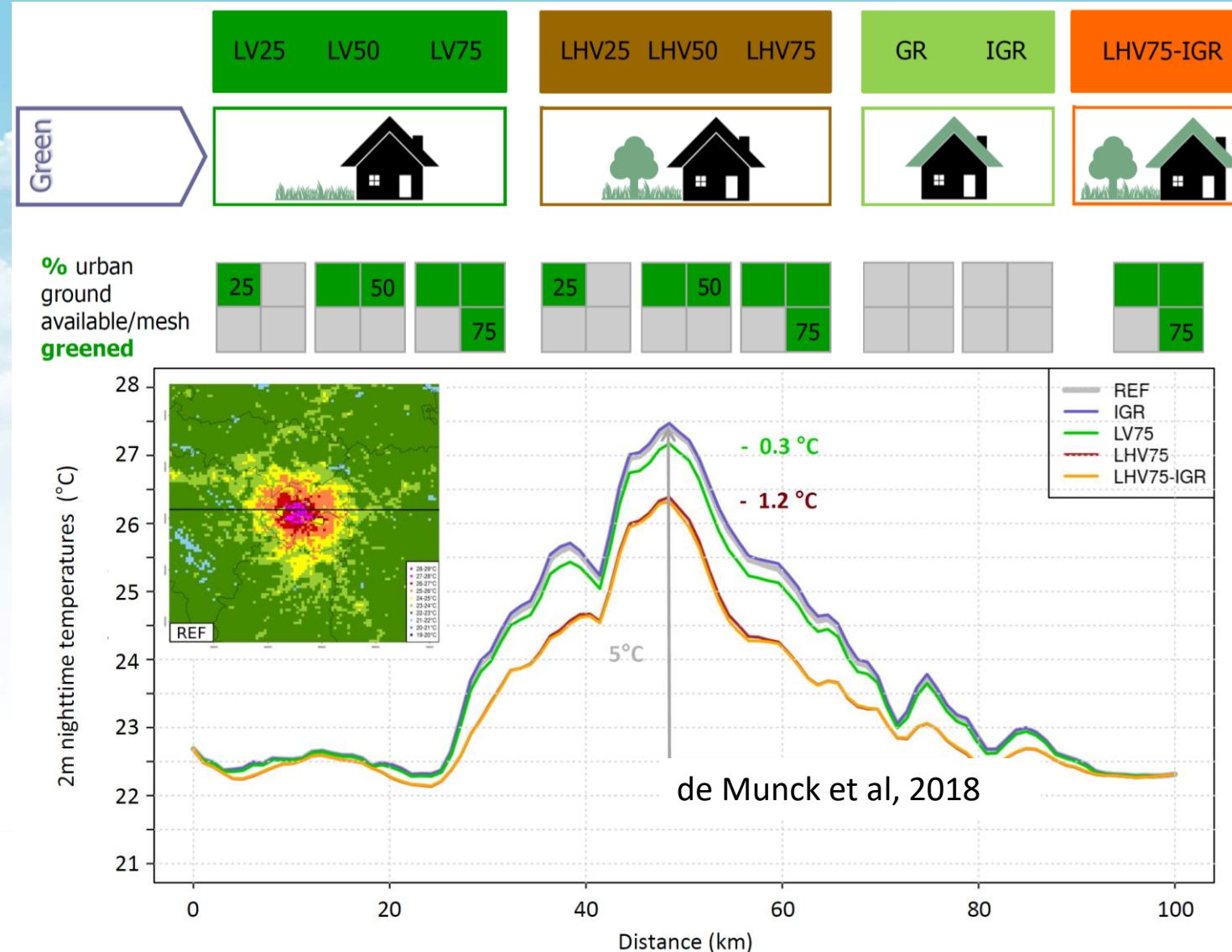
Микромасштабное моделирование



Пример расчетов с ENVI-met для центра Москвы, района метеостанции Балчуг
Результаты [Алена Коспанова](#) (географический факультет МГУ)

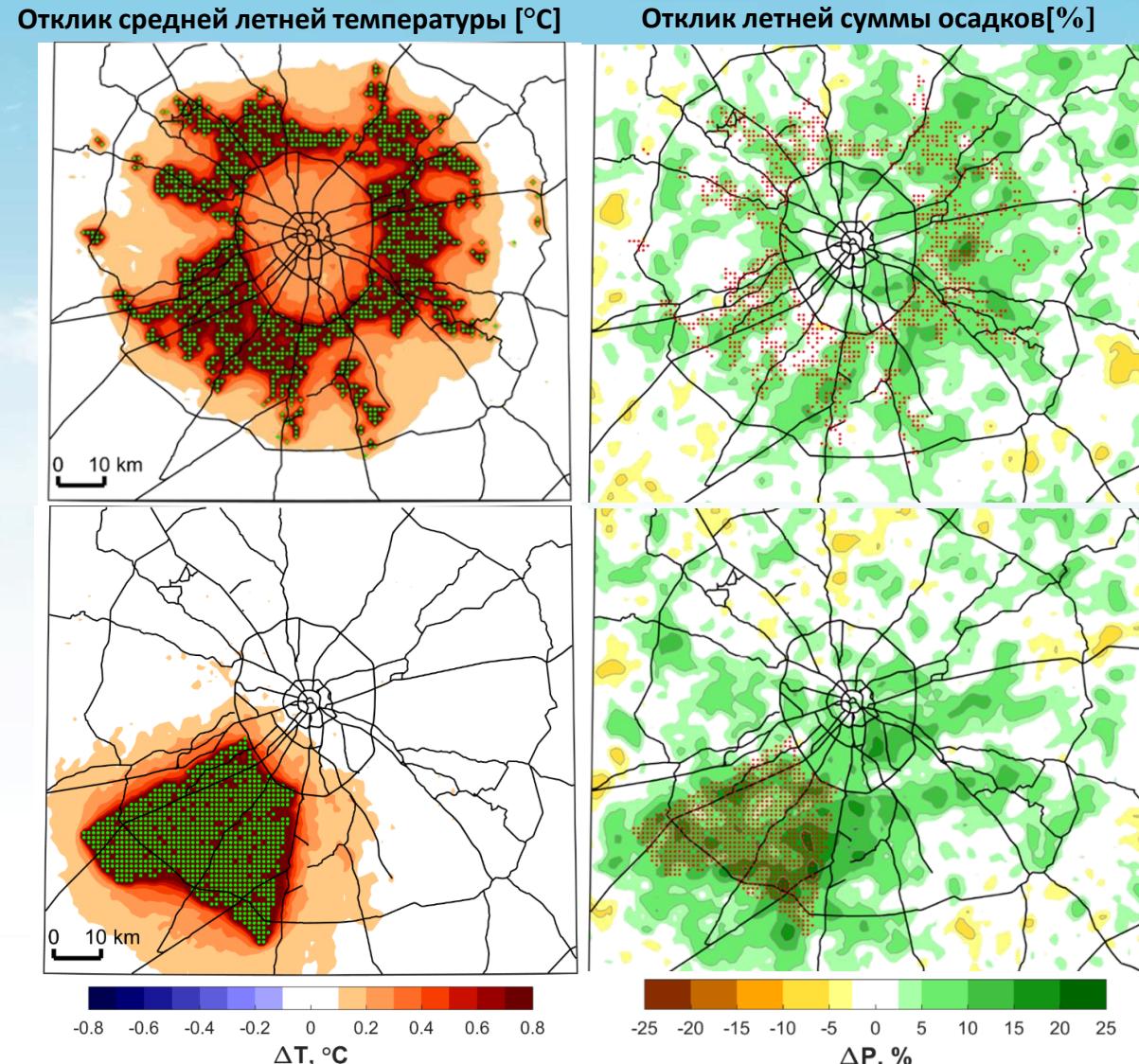
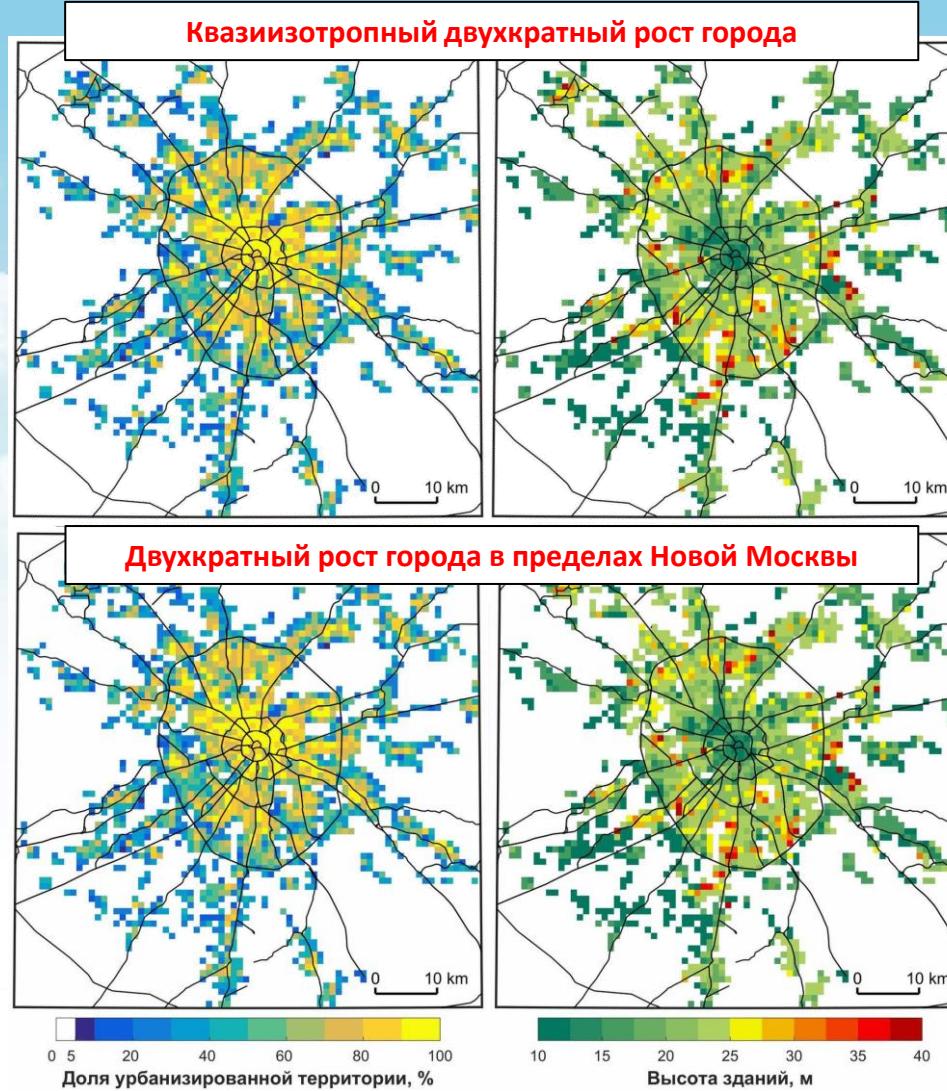
Модели и градостроительное планирование

Мезомасштабное моделирование



Модели и градостроительное планирование

Мезомасштабное моделирование



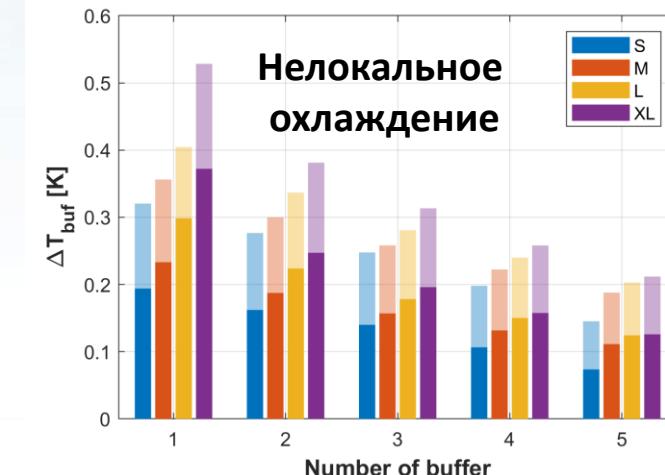
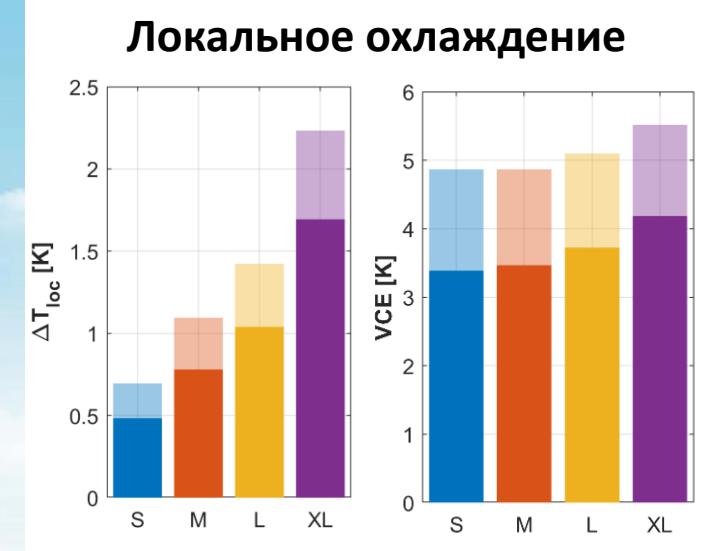
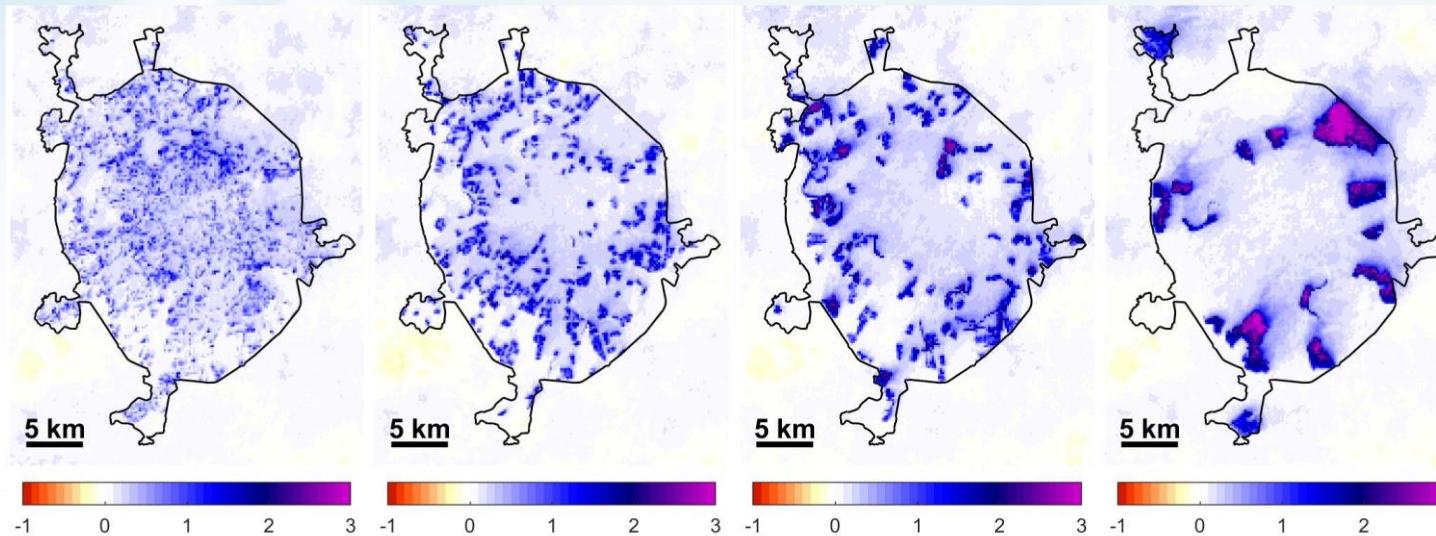
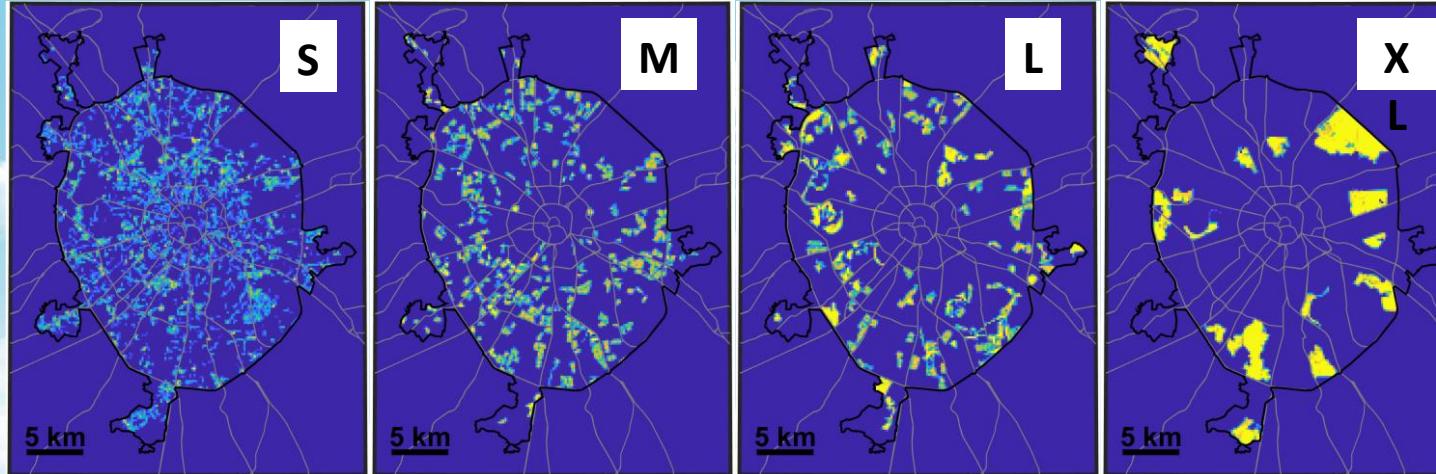
Модели и градостроительное планирование

Охлаждающий эффект городских парков



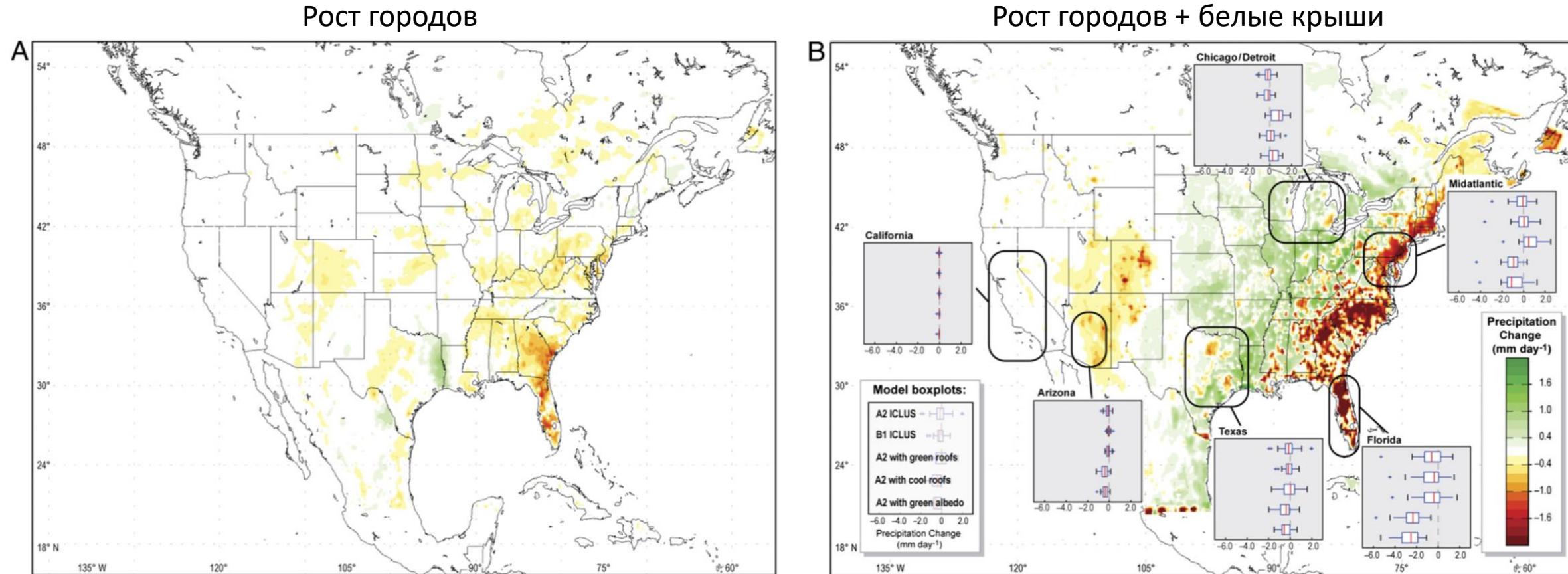
Модели и градостроительное планирование

Охлаждающий эффект городских парков



Модели и градостроительное планирование

Макромасштабное моделирование



Georgescu M. et al. (2014) Urban adaptation can roll back warming of emerging megapolitan regions.

Практическая работа №5*

Модели для градостроительного планирования



Трек 5.1. RayMan

- Выполнить расчет индексов термического комфорта для нескольких различных точек городской среды для двух конфигурациями озеленения (при наличие деревьев и без них)
- Сравнить результаты
- Сравнить влияния затенения зданиями и деревьями
- Важно чтобы в форсинге присутствовала температура поверхности



Трек 5.2. ТЕВ

- Провести серию экспериментов с моделью ТЕВ с различными конфигурациями городского каньона
- Можно менять любые параметры зданий и городской среды, в т.ч. теплофизические параметры, альbedo, озеленение (ZGARDEN), параметры встроенной энергетической модели BEM.
- Цель экспериментов:
 - а) понизить температуру воздуха в каньоне, T_CANYON
 - б) понизить затраты энергии на отопление/охлаждение зданий (переменные HVAC_HEAT, HVAC_COOL)



Трек 5.3. ENVI-Met

- Самостоятельно разобраться с запуском ENVI-Met
- Подготовить метеорологический форсинг для вашего города
- Запустить модель с двумя конфигурациями застройки и/или озеленения
- Сравнить результаты

*Задание бонусное, может влиять на итоговую оценку только в сторону повышения.

Защита курсового проекта

Практические работы

1. Анализ данных мониторинга и моделирования для городов
2. Пространственные данные для моделирования городского климата
3. Мезомасштабного моделирования городского климата
4. Моделирование биоклиматической комфортности в городской среде
5. *Микромасштабное моделирование городского климата*

Моделирование градостроительных и архитектурных сценариев



Курсовой
проект

Защита на следующем занятии, 25 марта

Тайминг: доклады на 8-10 мин + 2 минуты на вопросы

Что будет оцениваться:

- Представление материалов по каждой из практических работ
- Выделение наиболее интересных и показательных результатов по каждой из работ
- Взаимосвязь материалов из различных работ
- Наличие выводов и рекомендаций
- Ответы на вопросы
- Участие в обсуждении