



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Курс «Моделирование климата городов» 2025, лекция №2

Мониторинг городского климат

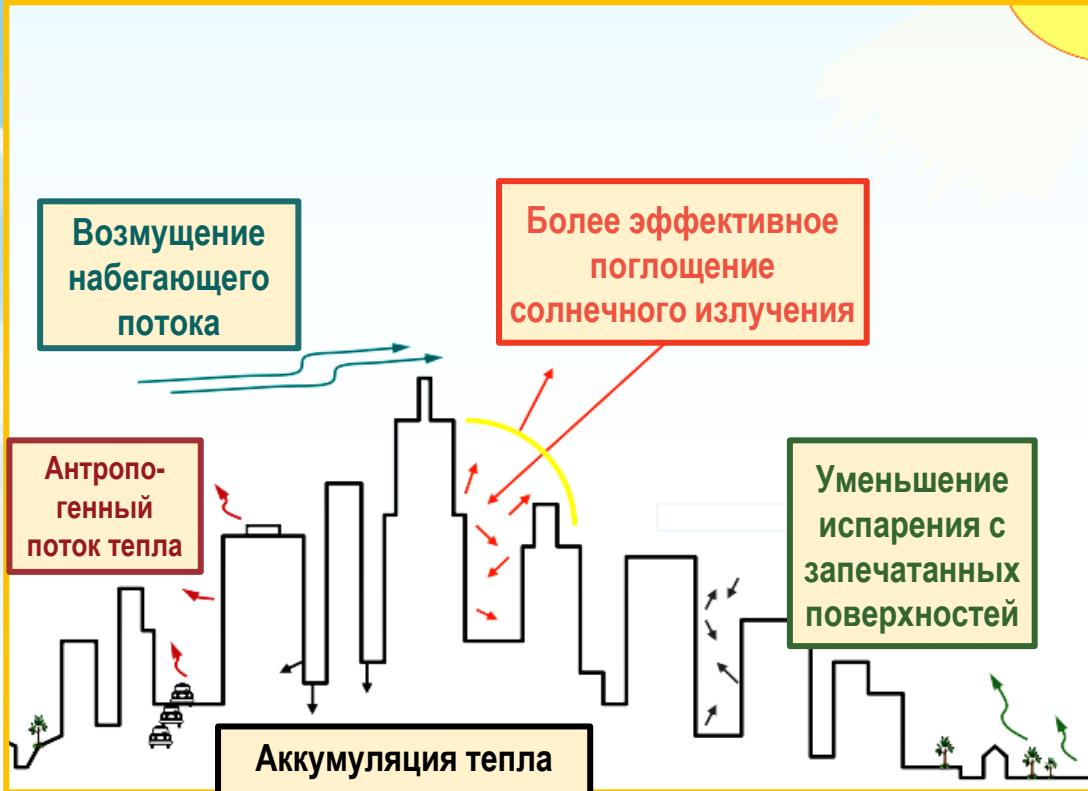
Михаил Иванович Варенцов

mvarentsov@hse.ru

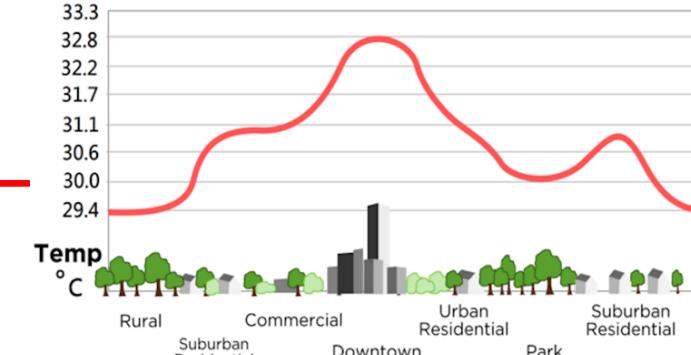


В предыдущих сериях...

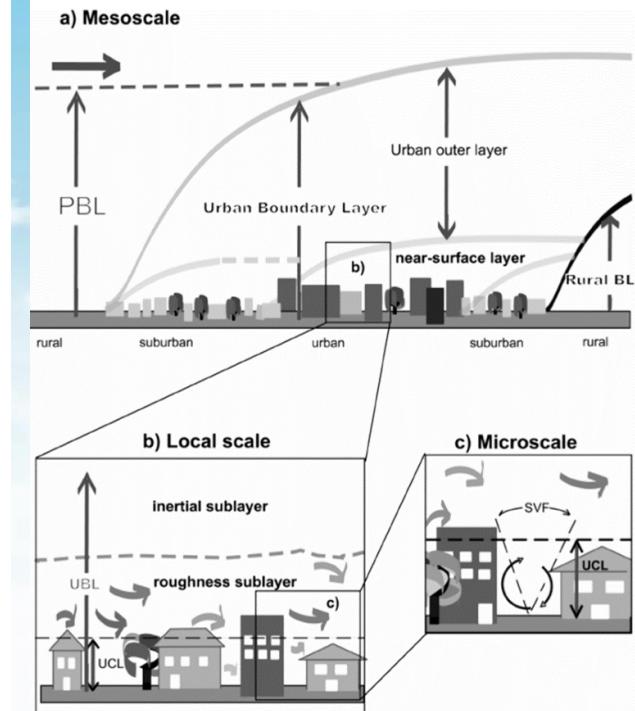
Влияния городов на атмосферу



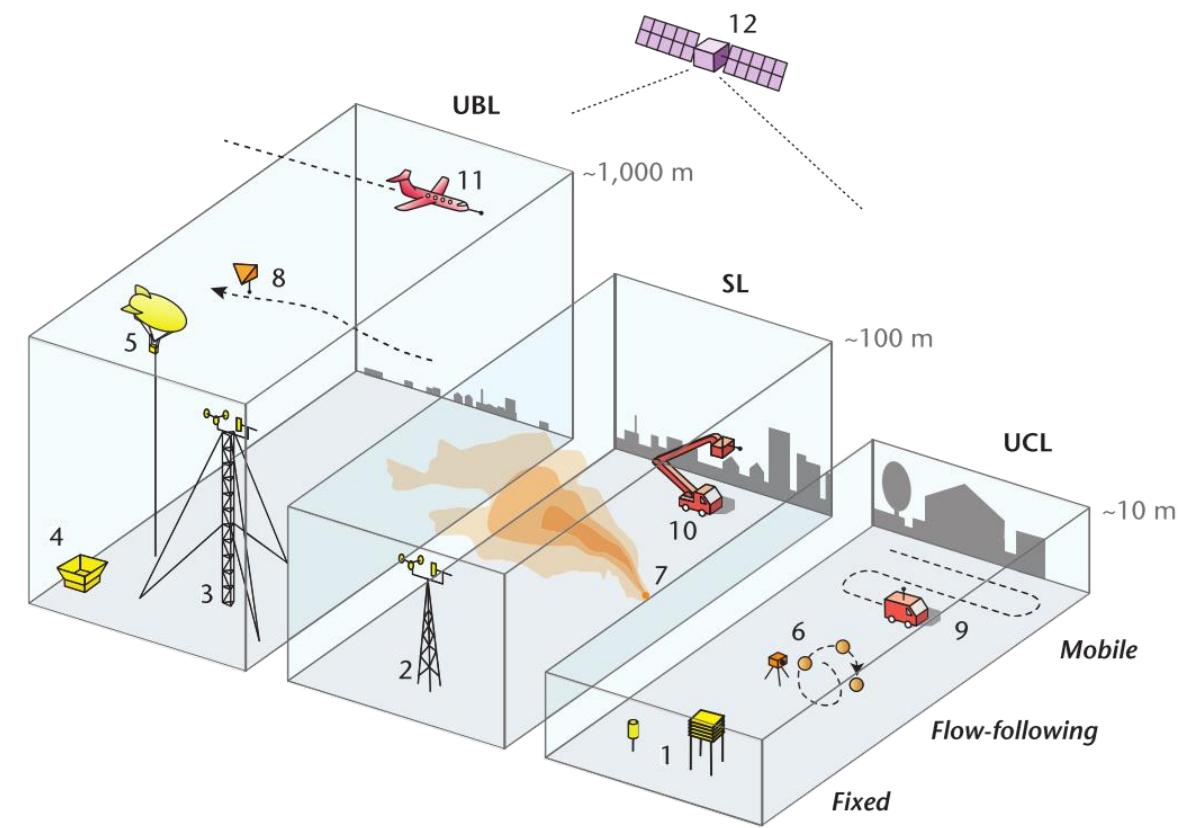
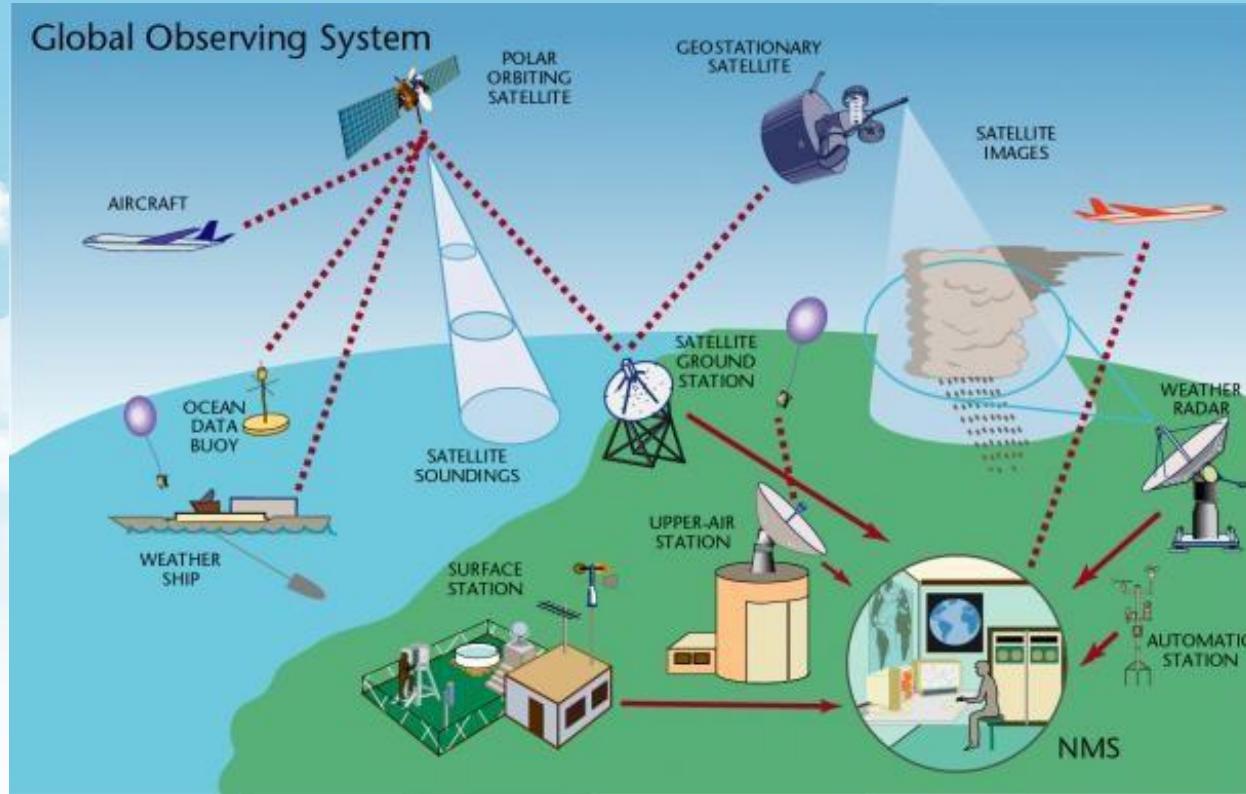
Почему это актуально?



Проблемы и вызовы?



В предыдущих сериях...



Зачем нужны наблюдения в курсе про моделирование?



Релевантные виды наблюдений

□ Регулярные оперативные наблюдения:

- Национальные метеослужбы (работают в соответствии по наставлениям ВМО)
 - Наземные метеостанции, аэрология, радары и пр.
 - Экологический мониторинг (качество воздуха)
 - ...
- Ведомственные системы мониторинга (например, дорожные метеостанции)



<https://wmo.int/>

□ Специализированные наблюдения (научные организации)

- Длительный мониторинг
- Краткосрочные измерительные кампании

□ Нетрадиционные виды наблюдений

- Краудсорсинг
- Любительские метеостанции
- IoT-девайсы

□ Дистанционное зондирование Земли

Регулярные оперативные наблюдения



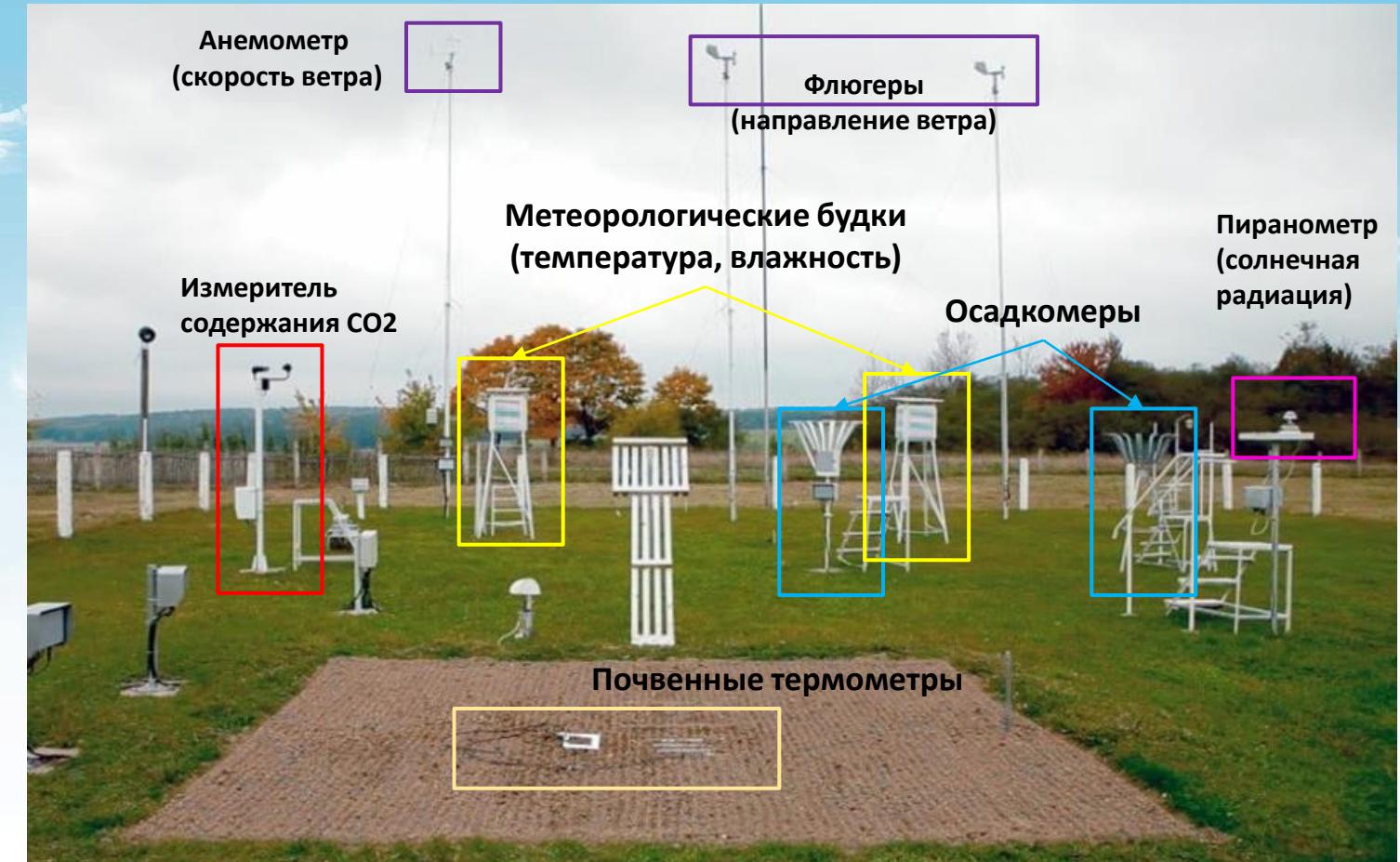
Наземные метеостанции

Сроки наблюдений:

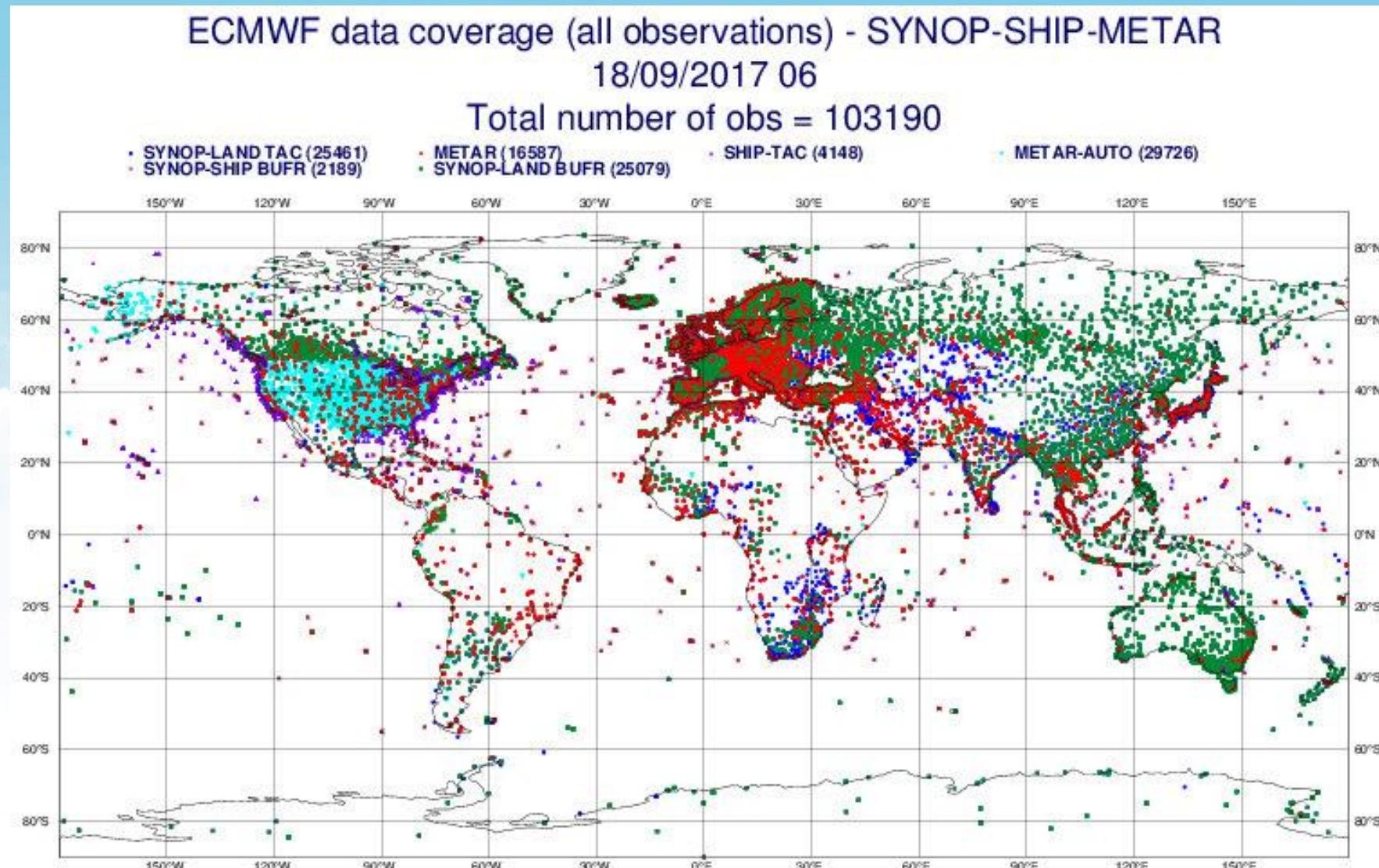
00,03,06,09,12,15,18,21 по всемирному
координированному времени

Наблюдаемые параметры:

- Температура на 2 метрах;
- Влажность воздуха на 2 м;
- Атмосферное давление;
- Скорость и направление ветра на 10 м;
- Количество и тип осадков;
- Балл общей и нижней облачности;
- Типы облаков по международной классификации;
- Горизонтальная видимость;
- Температура поверхности почвы и на горизонтах;
- Продолжительность солнечного сияния;
- Высота и плотность снежного покрова.



Наземные метеостанции



Почему так мало данных для городов?

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
по гидрометеорологии и контролю
природной среды

НАСТАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ СТАНЦИЯМ И ПОСТАМ

ВЫПУСК 3

ЧАСТЬ I

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ
НА СТАНЦИЯХ



ЛЕНИНГРАД
ГИДРОМЕТОРИЗДАТ
1985

2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛОЩАДКА

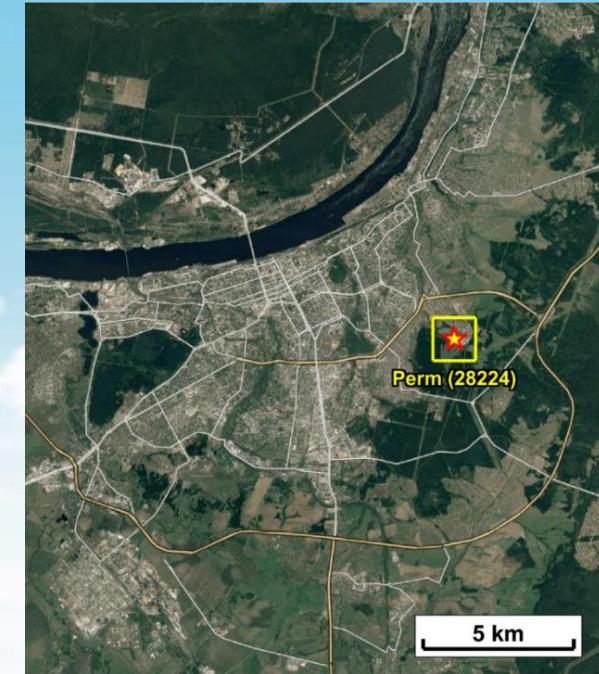
2.1. Общие указания

2.1.1. Метеорологическая площадка служит для установки приборов и оборудования, необходимых при производстве метеорологических наблюдений в приземном слое атмосферы.

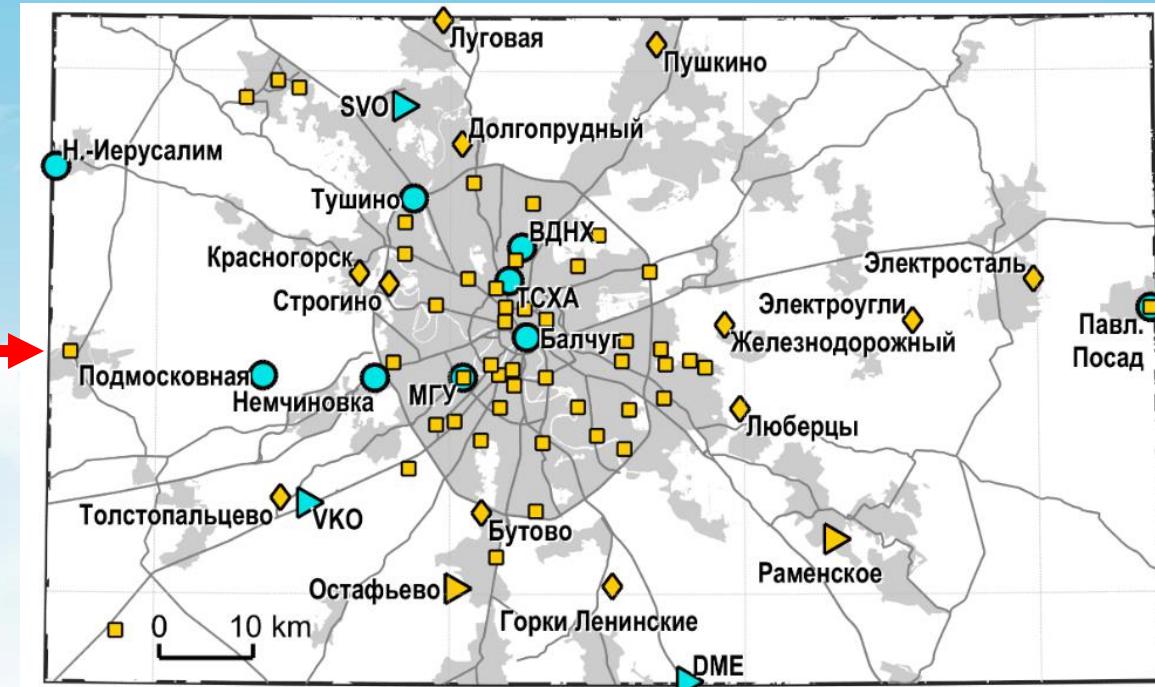
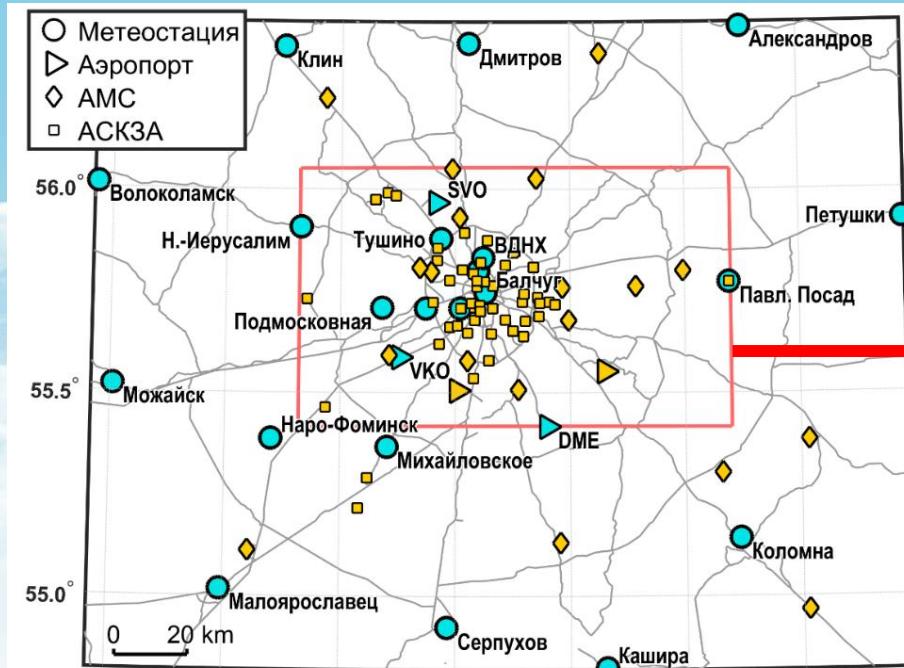
2.1.2. Метеорологическая площадка выбирается на участке, характерном (типичном) для окружающей местности и не отличающимся от окружающей территории какими-либо особенностями теплообмена и влагообмена подстилающей поверхности с атмосферой.

Характерность метеорологической площадки обеспечивается тем, что она располагается на преобладающих формах рельефа, наблюдающихся в районе, и удалена от источников влаги (море, озеро, река, водохранилище) на расстояние не менее 100 м от уреза воды при максимальном уровне воды в водоеме.

Метеорологическая площадка должна быть удалена от невысоких отдельных препятствий (одноэтажных построек, отдельных деревьев и т. п.) на расстояние не меньше 10-кратной высоты этих препятствий. От значительных по протяженности препятствий (лесов, больших групп построек, городских улиц и т. п.) площадка должна быть удалена на расстояние не меньше 20-кратной высоты этих препятствий.



Метеостанции Москвы и окрестностей



Метеообсерватория МГУ



Метеостанция Балчуг

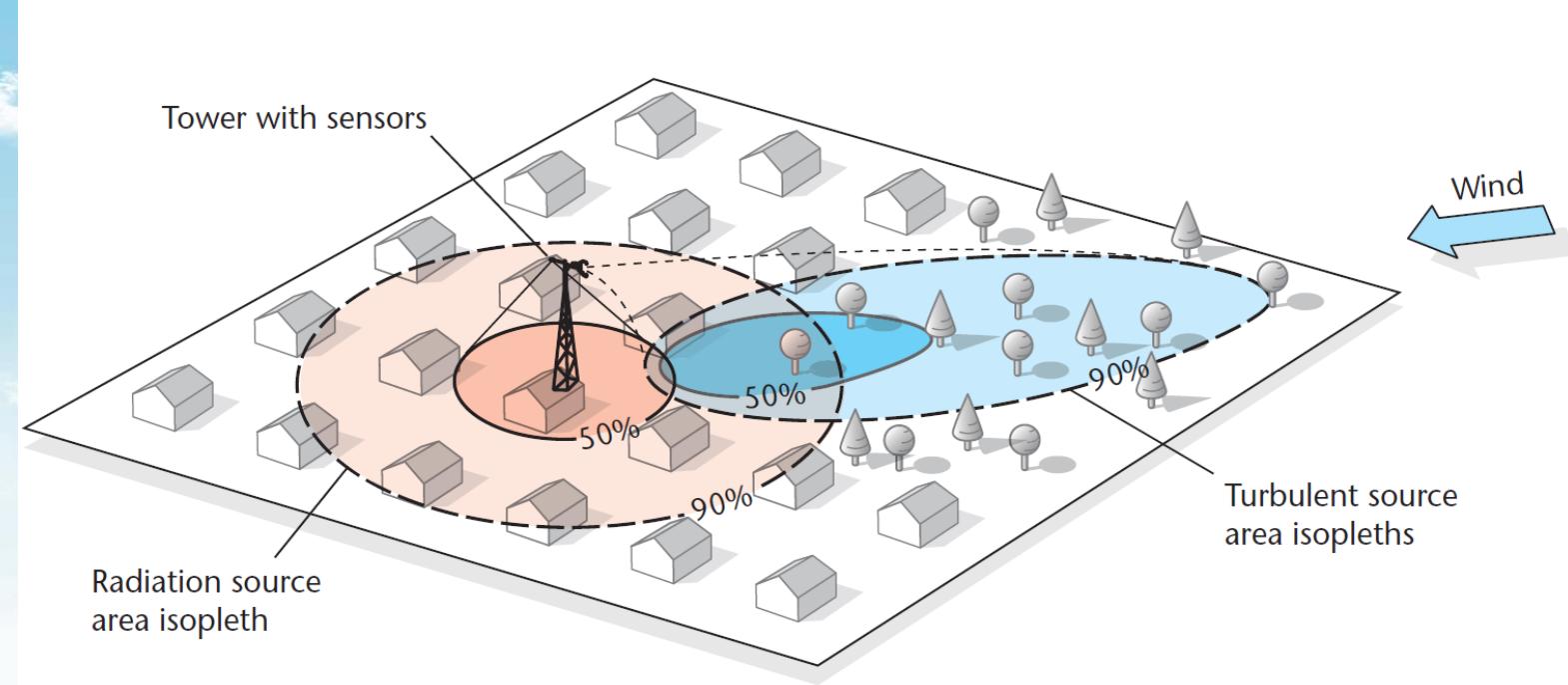
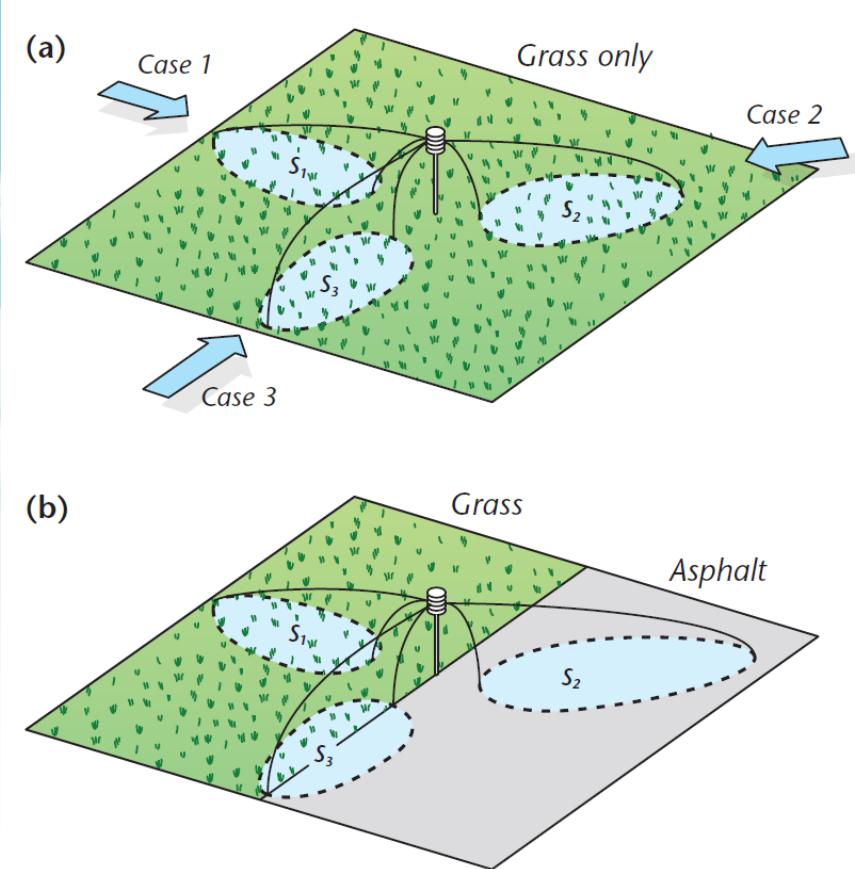


АМС ФГБУ «Центральное УГМС»



АСКЗА ГПБУ «Москомониторинг»

Нюансы работы с данными наблюдений в городах

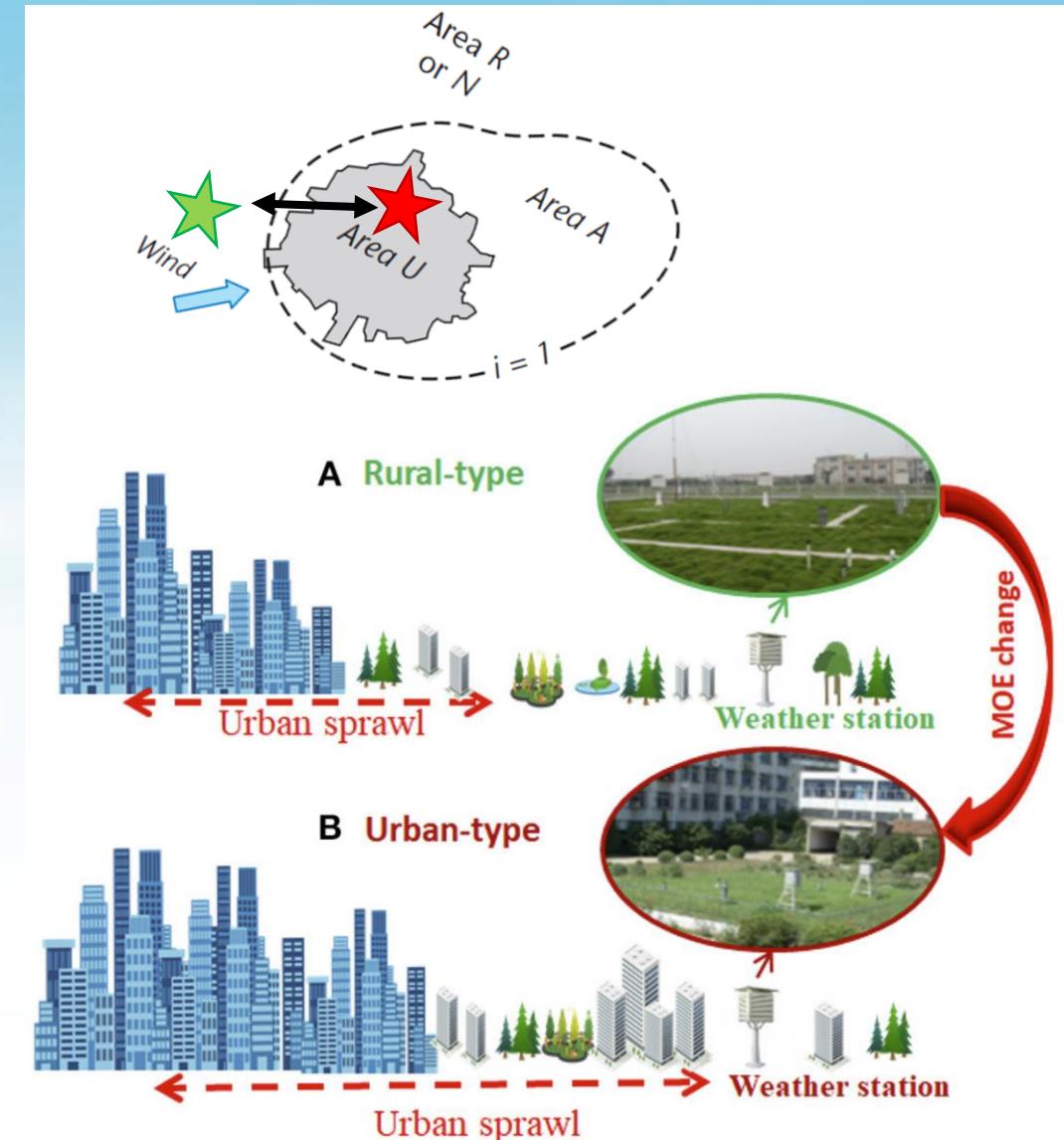


**При интерпретации наблюдений в городах особенно важно
точно знать местоположение станции!**

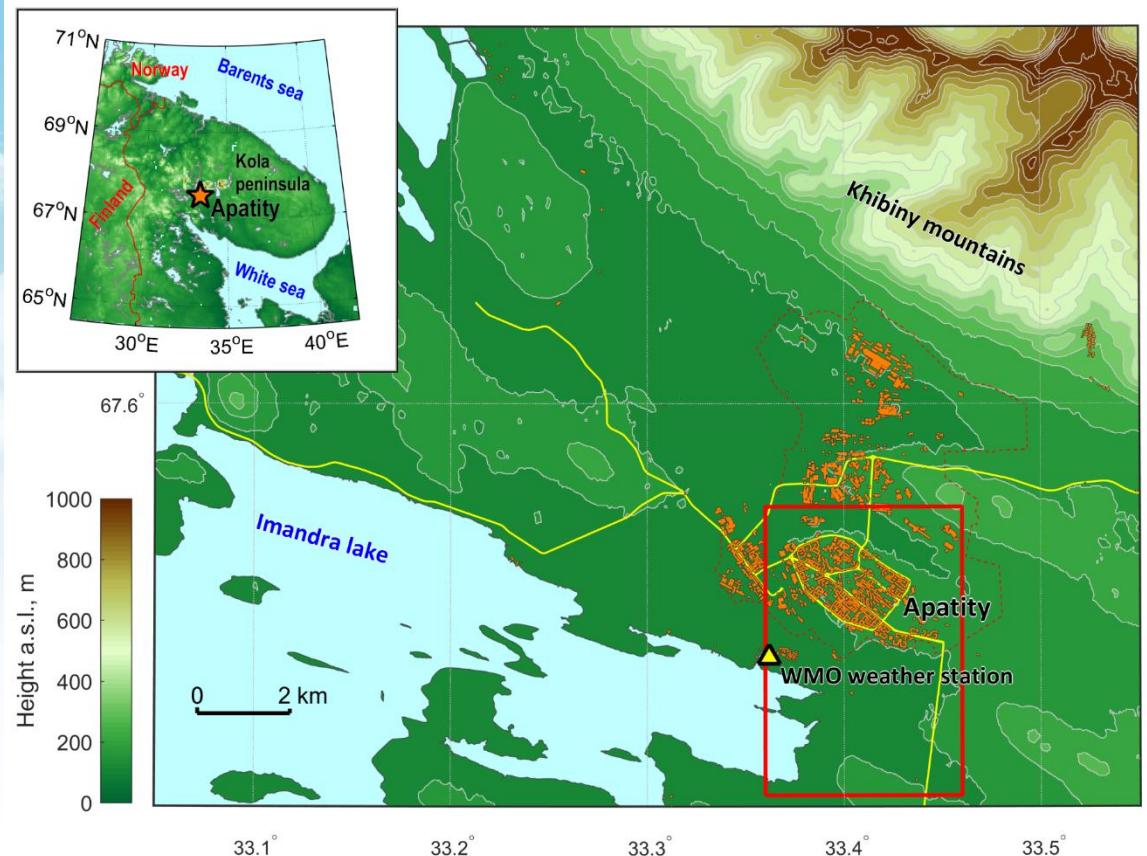
Нюансы работы с данными наблюдений в городах

Изоляция городских эффектов:

- Стандартный подход – сравнение наблюдений на городских и фоновых (загородных) метеостанциях
- Эти метеостанции должны быть репрезентативны для города и фона
- Эти станции должны **минимально различаться по влиянию других факторов** (рельеф, водные объекты, макроклимат)
- Загородная метеостанция должна быть за пределами зоны влияния города с учетом адвекции
- **Важно учитывать эволюцию типов земельного покрова во времени**

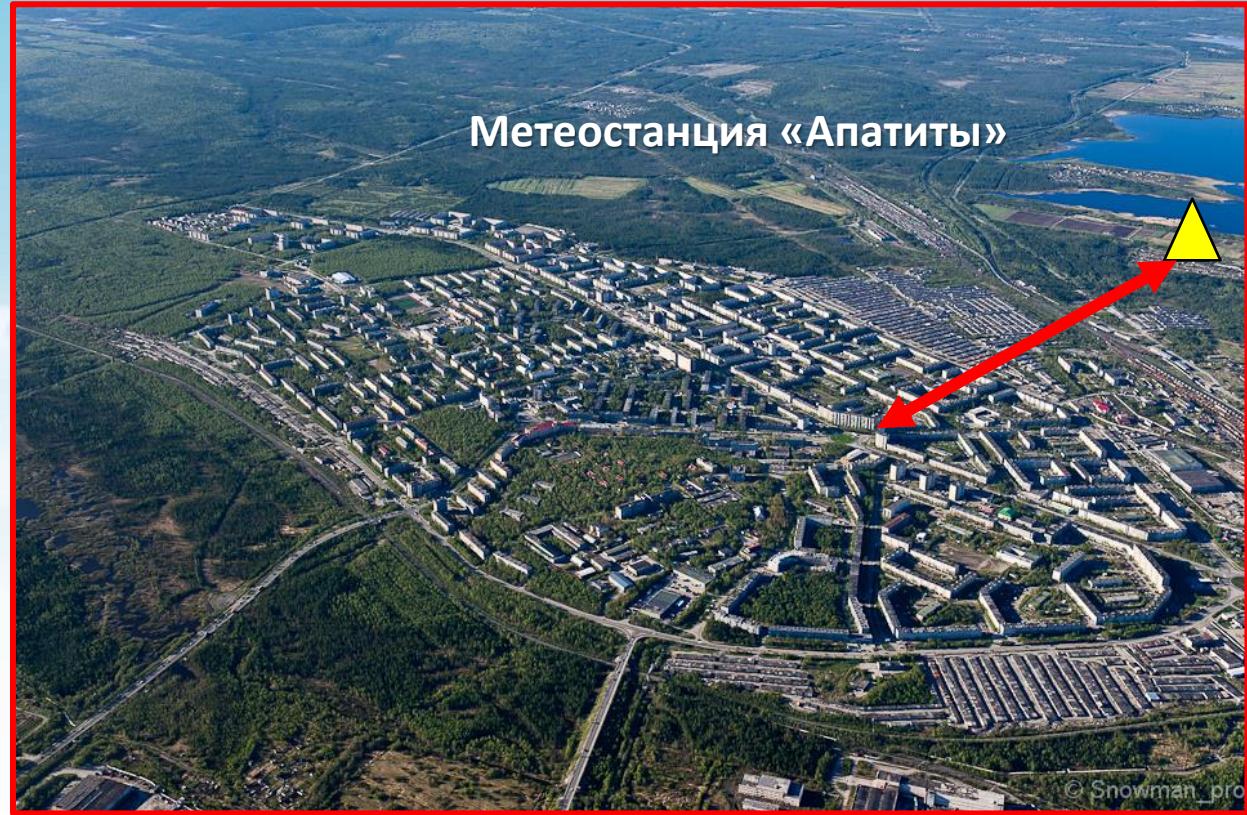


Пример из личного опыта

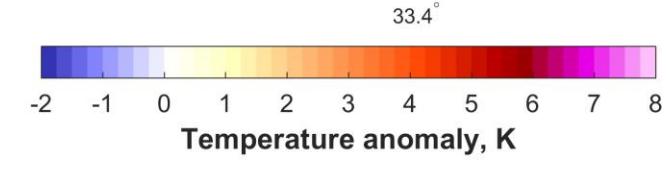
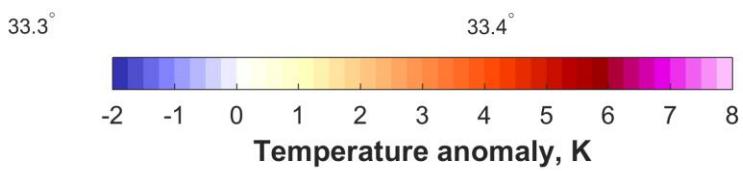
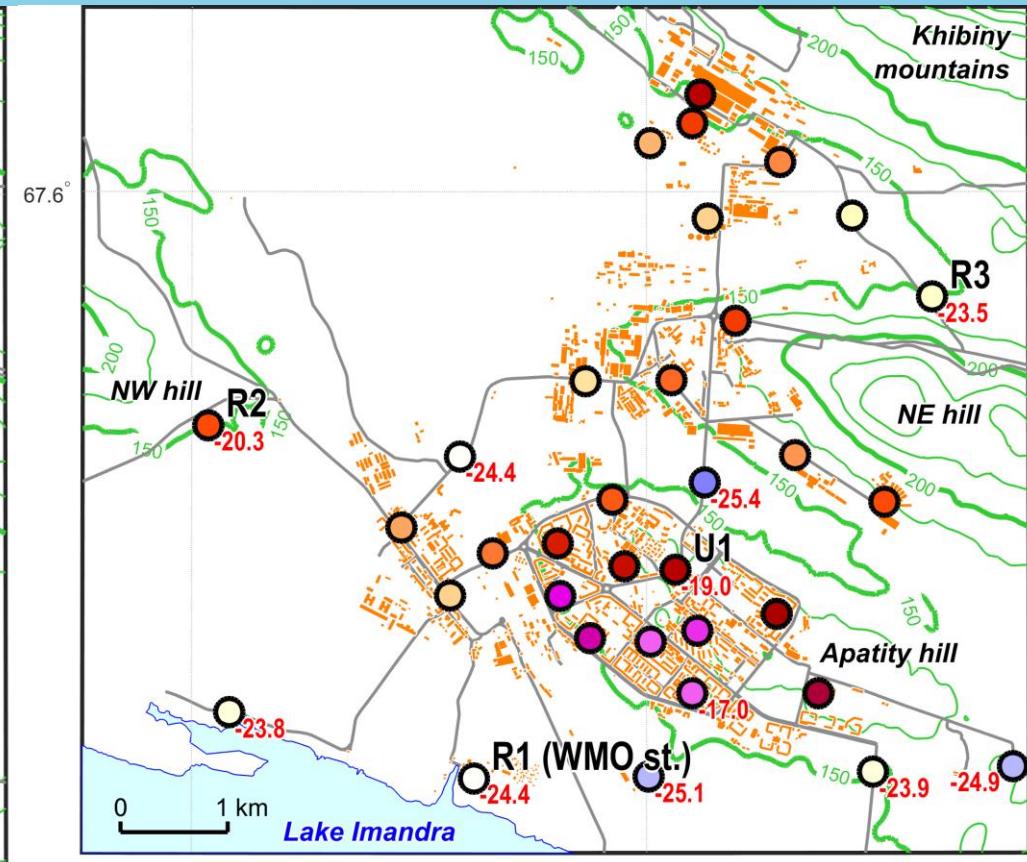
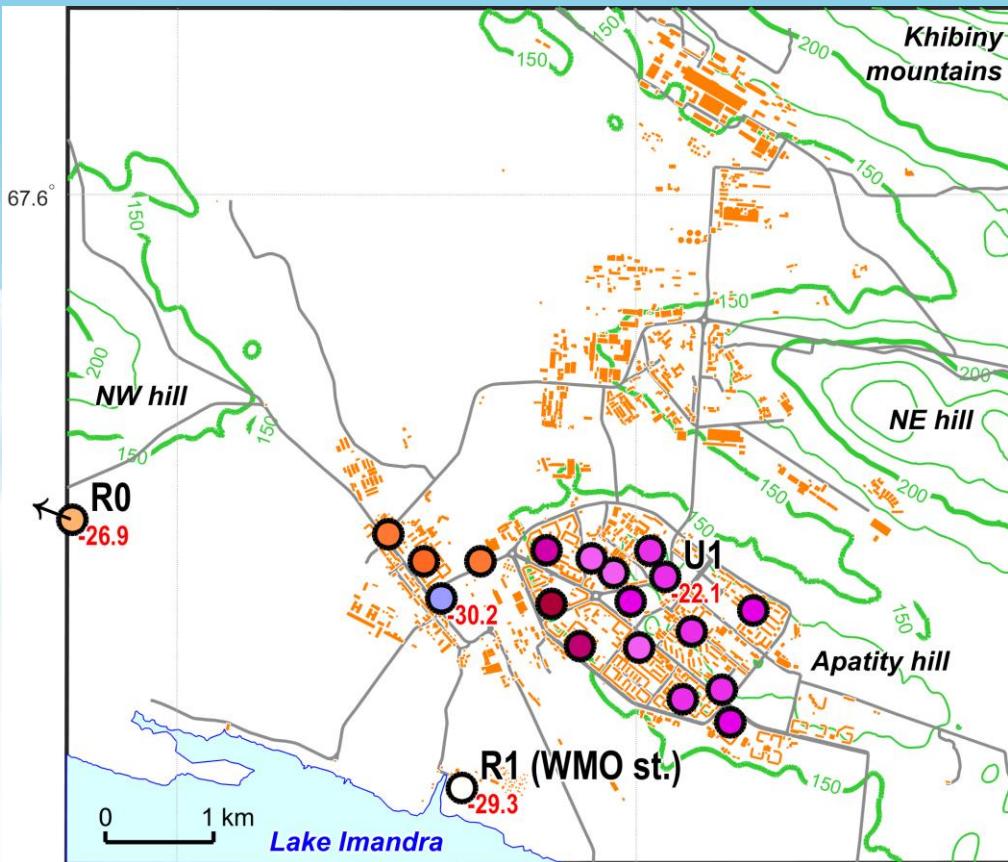


Anthropogenic and natural drivers of a strong winter urban heat island in a typical Arctic city

Mikhail Varentsov^{1,2}, Pavel Konstantinov^{1,3}, Alexander Baklanov⁴, Igor Esau⁵, Victoria Miles⁵, and Richard Davy⁵



Пример из личного опыта



Где брать данные метеостанций?

Официальные источники данных (Россия):

- Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД), <http://meteo.ru/data>, срочные данные тут: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/>)
- Территориальные подразделения Росгидромета (УГМСы), по запросу

Архив американской службы погоды (NOAA):

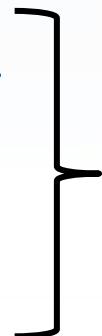
- Интерактивная карта <https://www.ncei.noaa.gov/maps/hourly/>
- Архив: <https://www.ncei.noaa.gov/data/global-hourly/archive/csv/>

Национальные метеослужбы других стран, например Германии:

https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/hourly/air_temperature/

Неофициальные источники официальных данных:

- <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php>
- <https://rp5.ru/>
- https://meteostat.net/*
- <http://www.meteomanz.com/>



Протоколы обмена данными
SYNOP, METAR, BURF

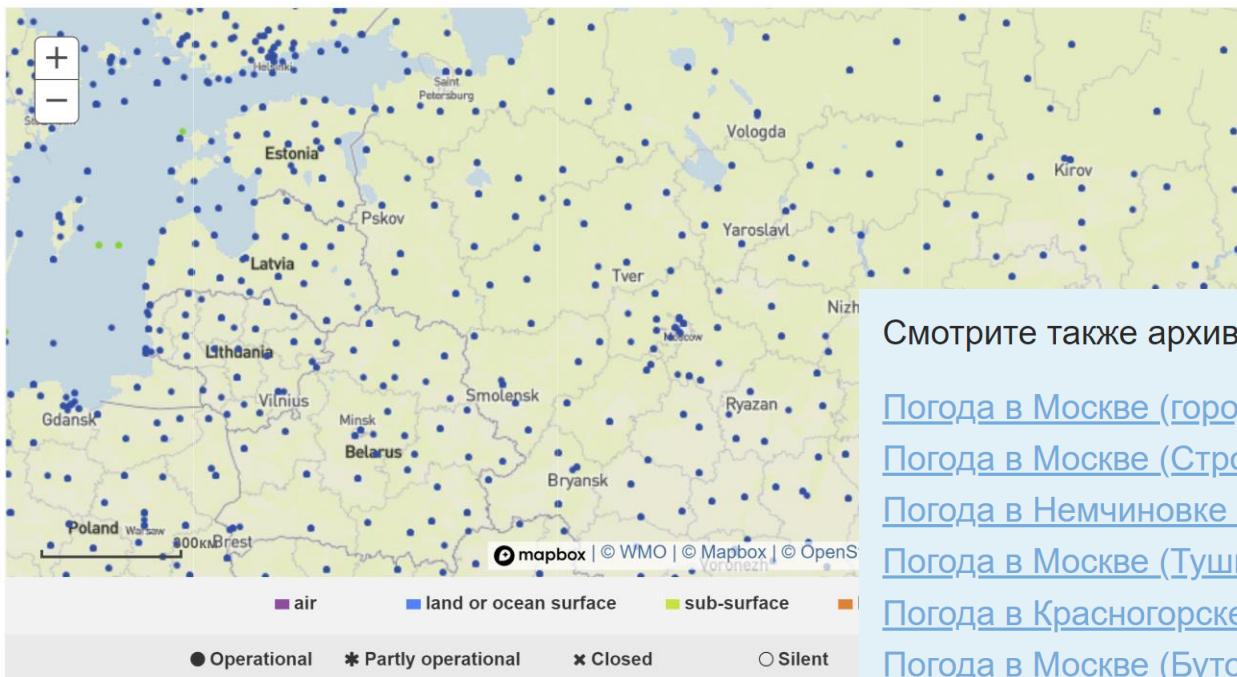
....

*осторожно, возможно смешивание данных наблюдений и моделирования (включено по умолчанию, нужно отключить)

Как найти метеостанции?

Welcome to OSCAR/Surface

OSCAR/Surface is the World Meteorological Organization's official repository of WIGOS metadata for all surface-based observing stations and platforms. For more details on OSCAR, please visit the [About](#) section. For additional information about WIGOS, visit the [WIGOS Homepage](#).



Каталог ВМО:

<https://oscar.wmo.int/surface//index.html#/>

- Поиск ближайших станций к уже найденной (<http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php>)
- Веб-сайты **региональных** подразделений национальных метеослужб

Смотрите также архив погоды в соседних городах и на ближайших метеорологических станциях:

[Погода в Москве \(город Москва, Россия\) \(9 км\)](#)

[Погода в Москве \(Строгино\) \(город Москва, Россия\) \(15 км\)](#)

[Погода в Немчиновке \(город Москва, Россия\) \(17 км\)](#)

[Погода в Москве \(Тушино\) \(город Москва, Россия\) \(17 км\)](#)

[Погода в Красногорске \(Московская область, Россия\) \(19 км\)](#)

[Погода в Москве \(Бутово\) \(город Москва, Россия\) \(21 км\)](#)

[Погода в Долгопрудном \(Московская область, Россия\) \(21 км\)](#)

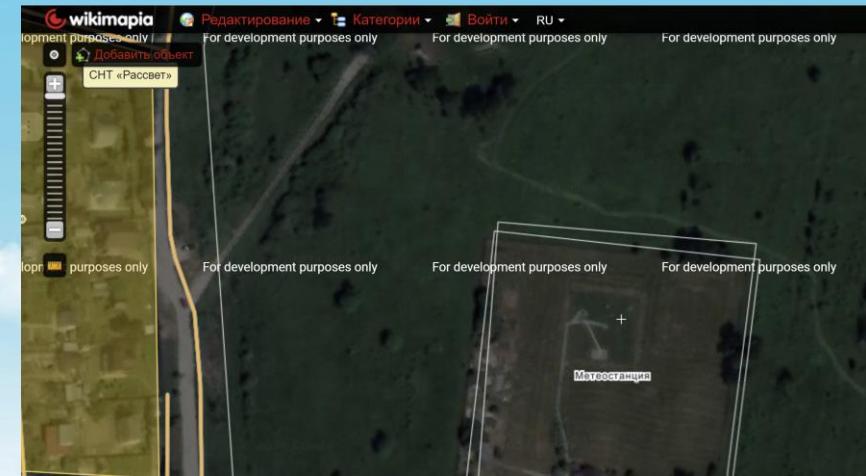
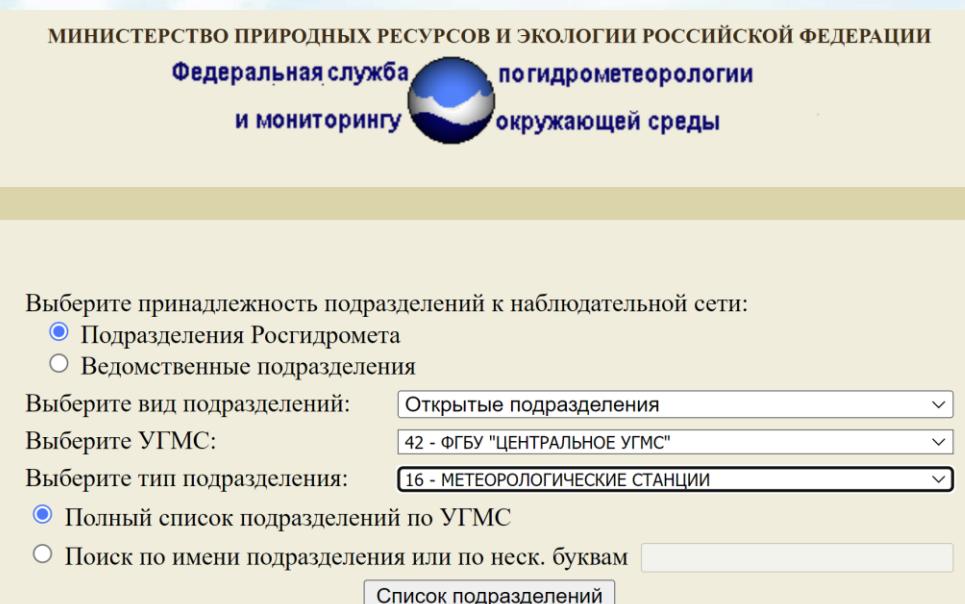
[Погода в Железнодорожном АМС \(Московская область, Россия\) \(21 км\)](#)

[Погода в Люберцах \(Московская область, Россия\) \(24 км\)](#)

[Погода в Внуково \(Московская область, Россия\) \(27 км\)](#)

Точная локализация метеостанций

- Google/Яндекс карты
 - Wikimapia
 - Каталог наблюдательной сети Росгидромета
http://cliware.meteo.ru/goskom_cat/list/index.jsp
(нужна регистрация)
 - Статьи и прочие публикации



Дата открытия подразделения: 19-12-2011

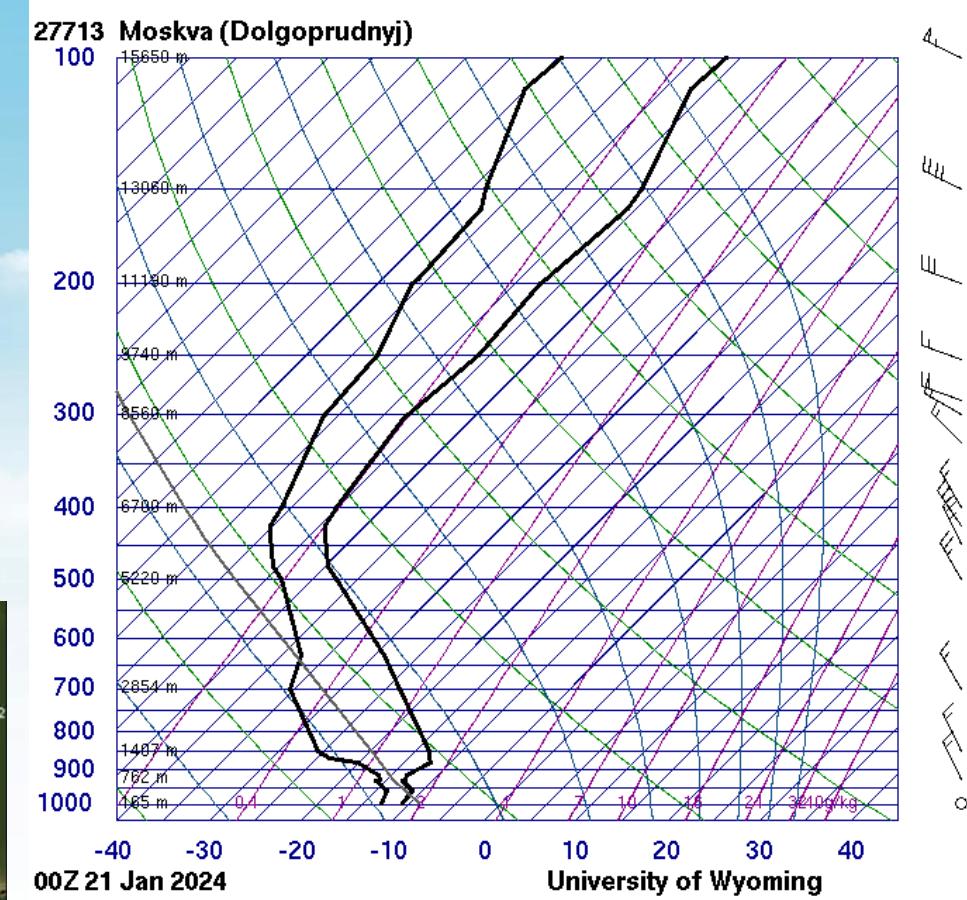
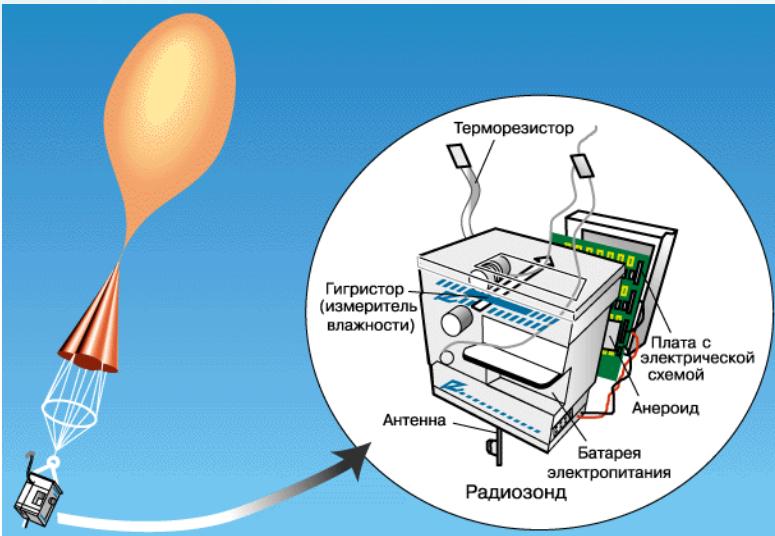
- 1. Управление по гидрометеорологии:** 42 - ФГБУ "ЦЕНТРАЛЬНОЕ УГМС"
Тип подразделения: 18 - АВТ. Г/М НЕОБСЛУЖИВ. СТАНЦИИ
Код ЦГМС, к которому принадлежит подразделение: 150 - МОСЦГМС
 - 2. Название сетевого подразделения:** ЭЛЕКТРОУГЛИ
 - 3. Код сетевого подразделения:** 3 18 42 009 0
 - 4. Водный объект:**
код1: ; код2: ; наименование: ;
 - 5. Коды наблюдений и работ (см. ниже "[Классификатор наблюдений](#)")**
 - 6. Условные обозначения включения подразделения в списки:**

реперных /вековых $\chi_1=0$: ВМО $\chi_2=0$: труднодоступны

Категория НП в целом 3-основная						
Сети	Основн.-3	Доп. -4	Реп. -2	Некласс.-1	Не принадлеж.-0	Неизвестно
Климатическая/метеорологическая	X					
Агрометеорологическая					X	
Гидрологическая					X	
Морская					X	

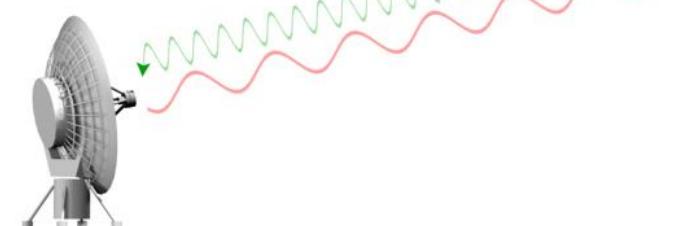
Радиозондирование

- Основной источник данных о процессах выше погранслоя
- Невысокая релевантность для городской метеорологии:
 - Низкая плотность сети
 - Низкое разрешение в погранслое
 - В ходе полета зонды смещаются на десятки километров
- Важны для понимания крупномасштабных процессов над городами (но есть альтернатива в виде модельных данных)
- Данные тут: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>



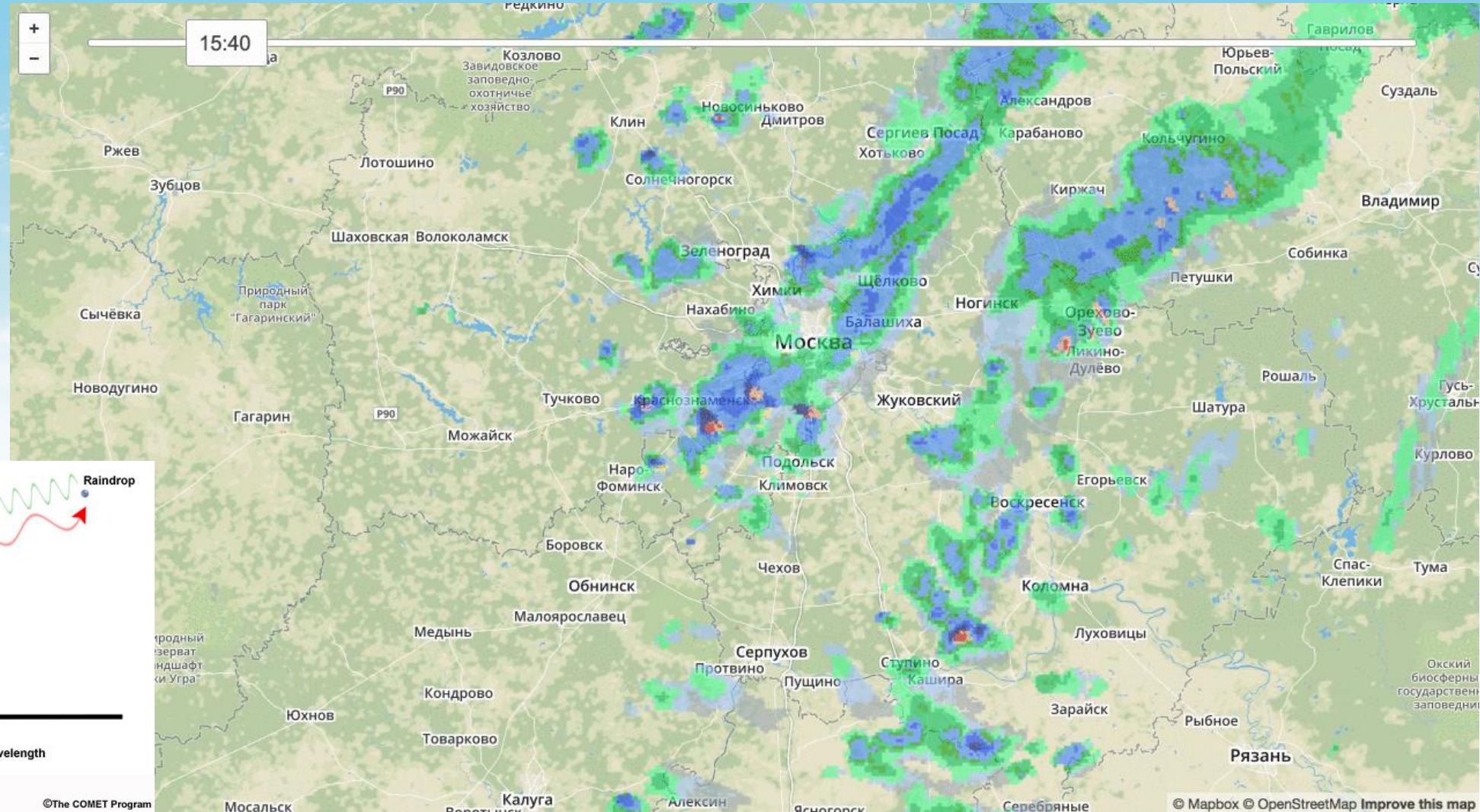
Метеорологические радиолокаторы

- Важнейший источник данных для наукастинга
- Важны для исследования влияния городов на осадки и ОЯ



Outgoing wavelength

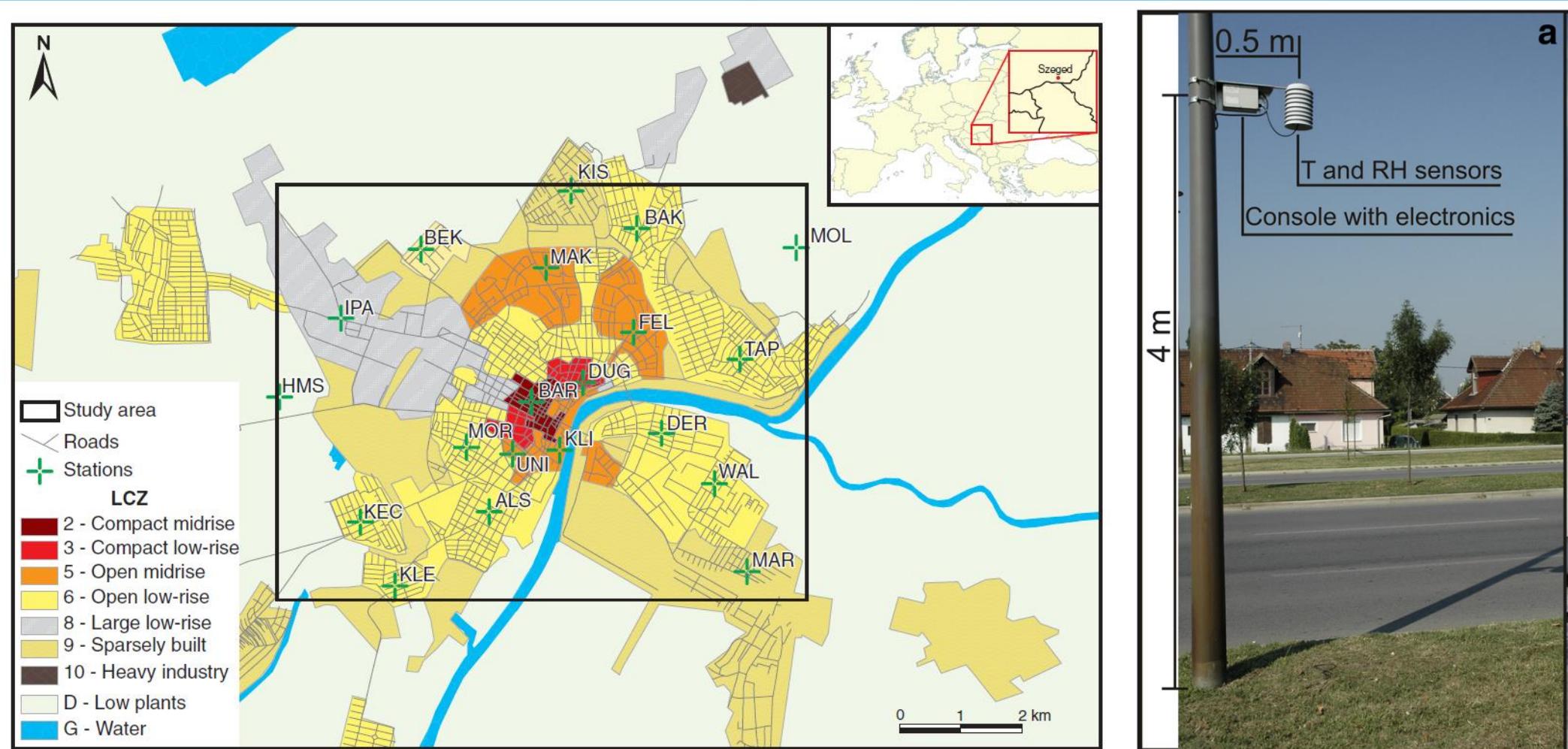
Returning wavelength



Специализированные наблюдения

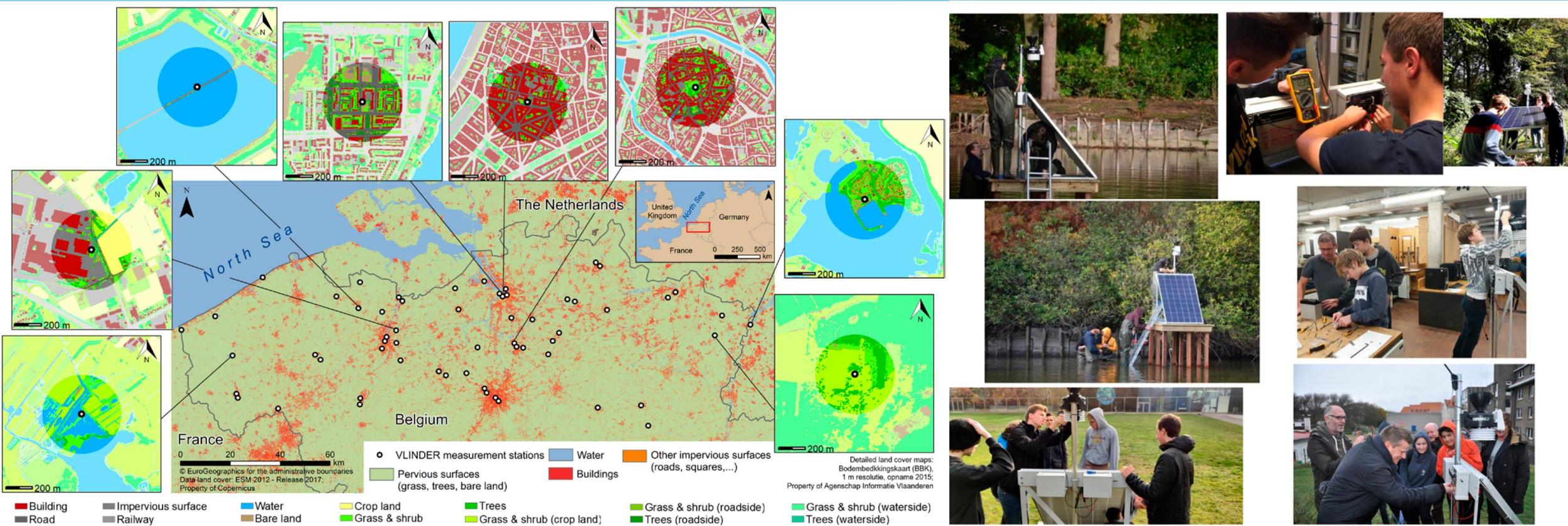


Городские метеорологические сети



Skarbit et al. (2017) Employing an urban meteorological network to monitor air temperature conditions in the 'local climate zones' of Szeged, Hungary
Šećerov et al. (2019) Progressing urban climate research using a high-density monitoring network system

Городские метеорологические сети



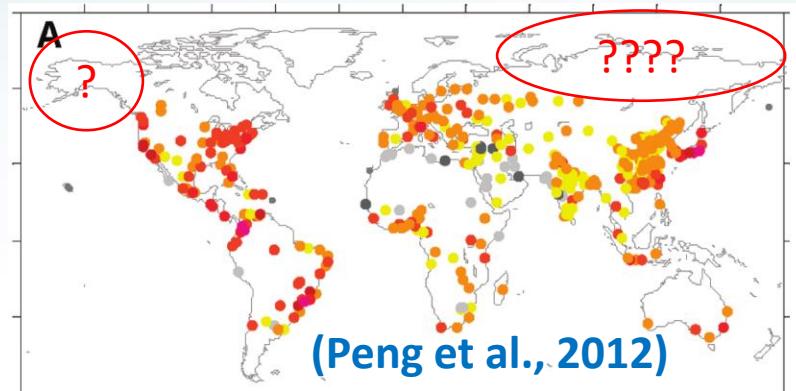
Сеть школьных метеостанций VLINDER (<https://vlinder.ugent.be/dashboard/>)

Caluwaerts et al. (2021) Engaging Schools to Explore Meteorological Observational Gaps

Пример сети UHIARC

Urban Heat Island Arctic Research Campaign

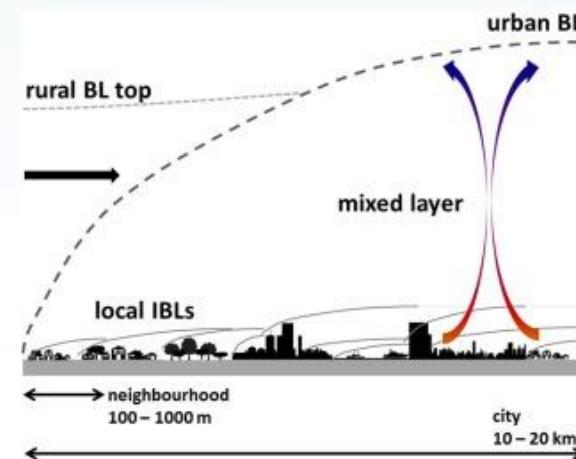
1. Географический аспект



2. Социальные и экономические вопросы (мерзлота, качество воздуха, отопление)

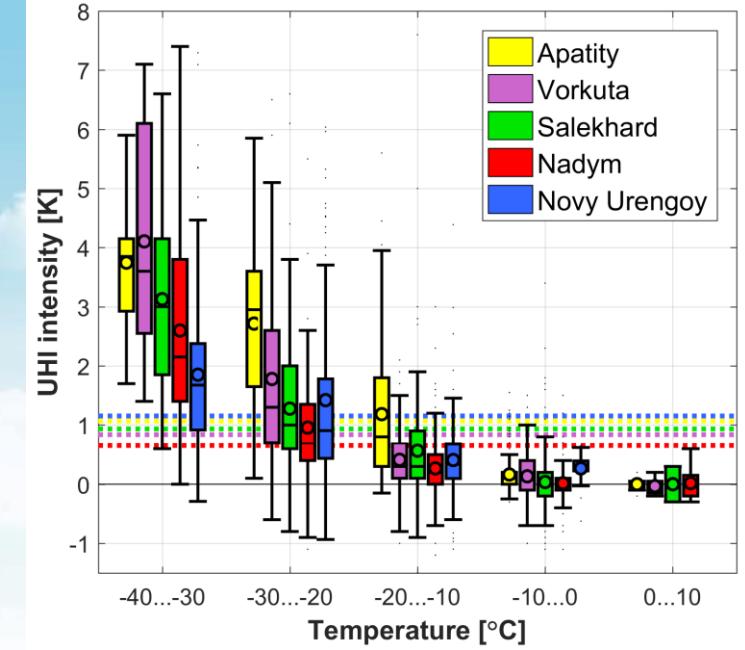
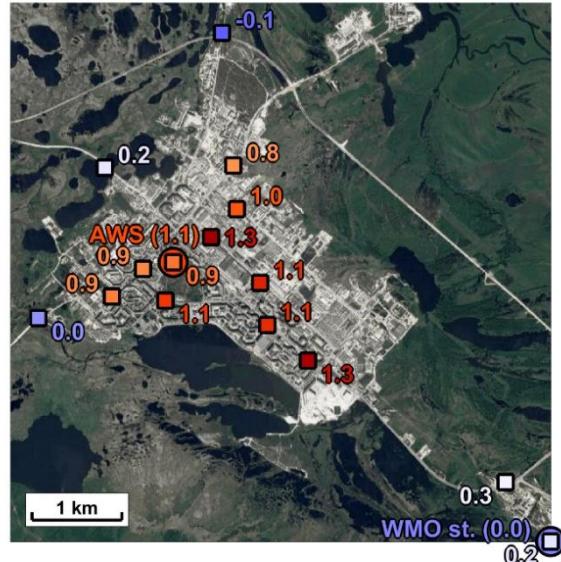
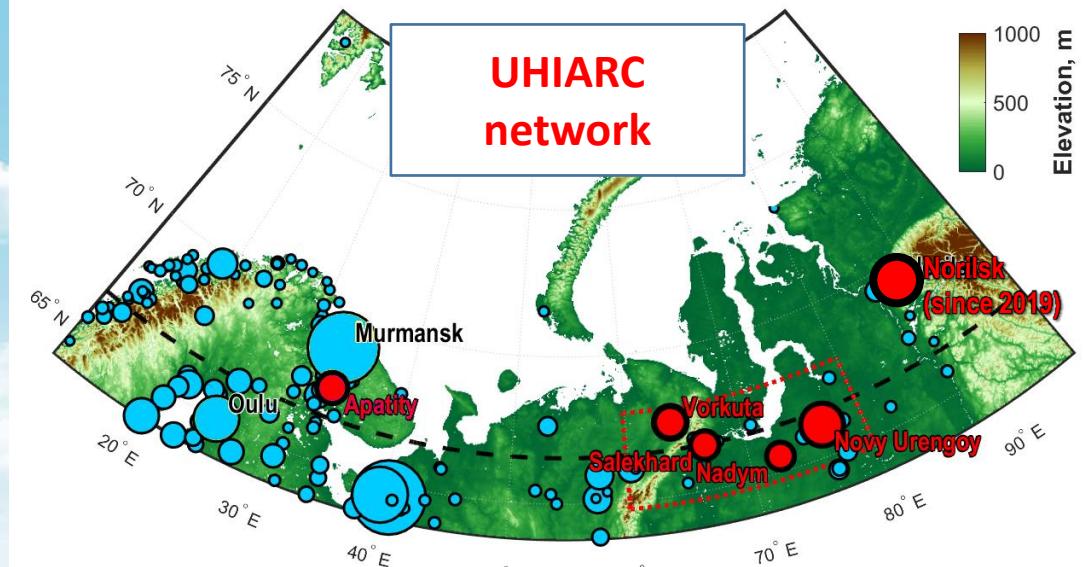


3. Арктические города как модельные объекты



Пример сети UHIARC

Urban Heat Island Arctic Research Campaign

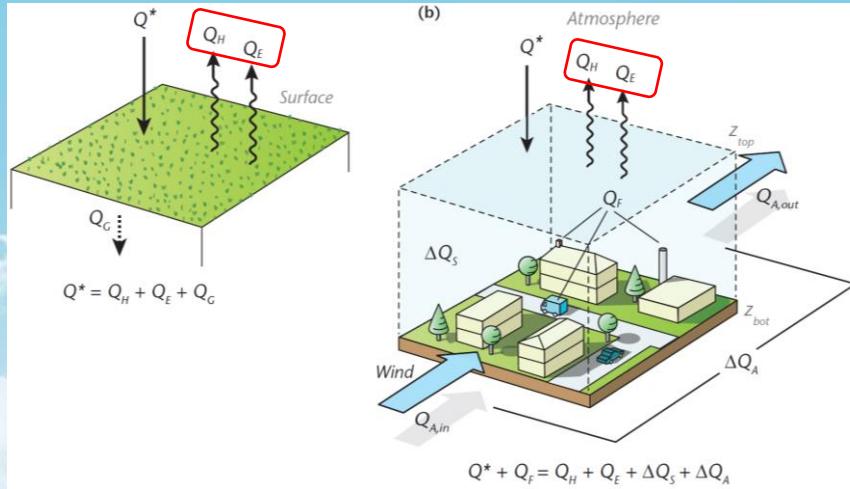


Dependence of the winter UHI intensity from air temperature

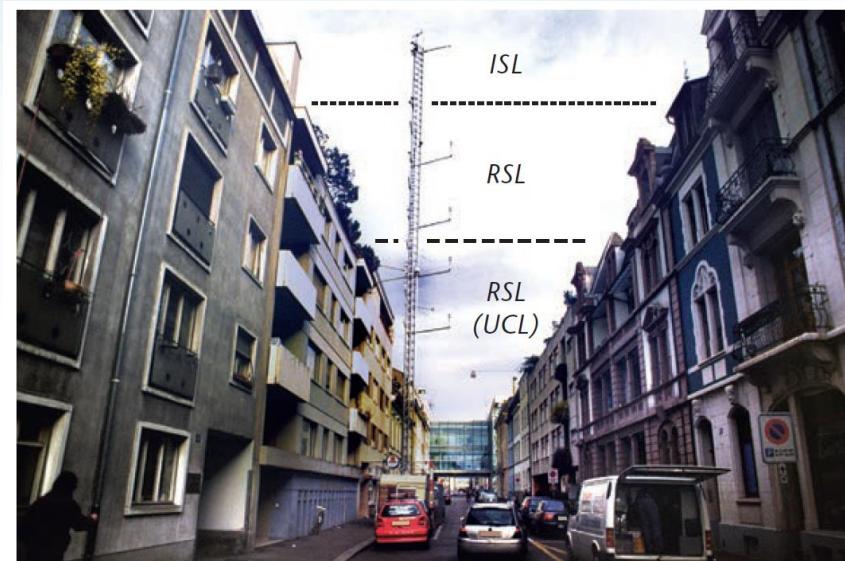
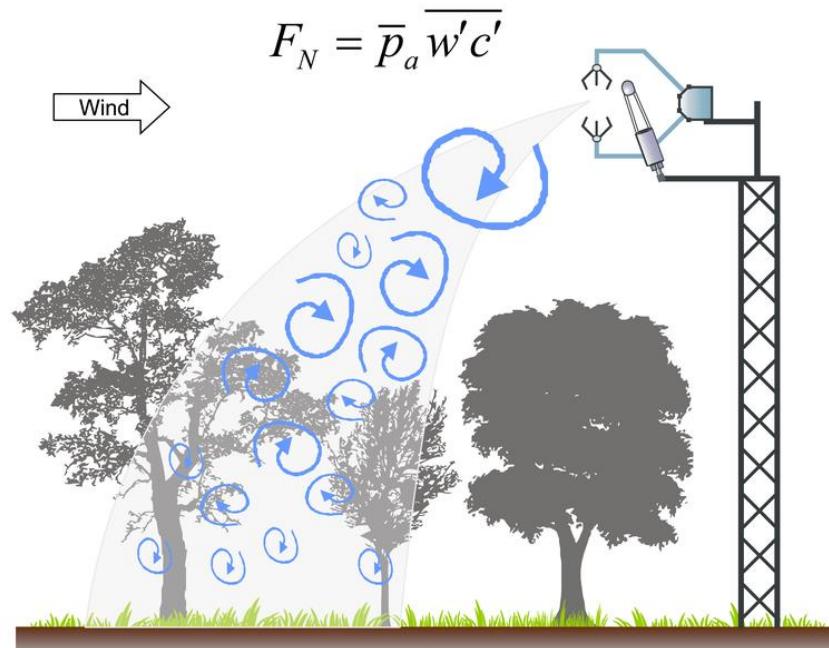


Konstantinov et al. (2018). A high density urban temperature network deployed in several cities of Eurasian Arctic

Наблюдения за теплообменом

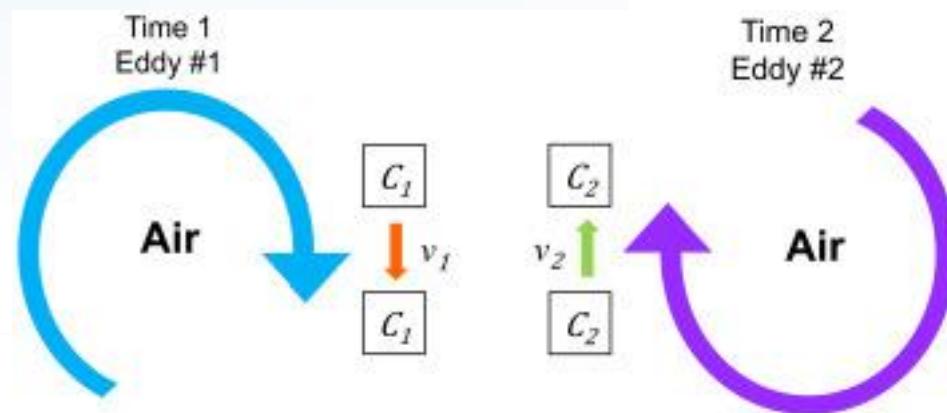
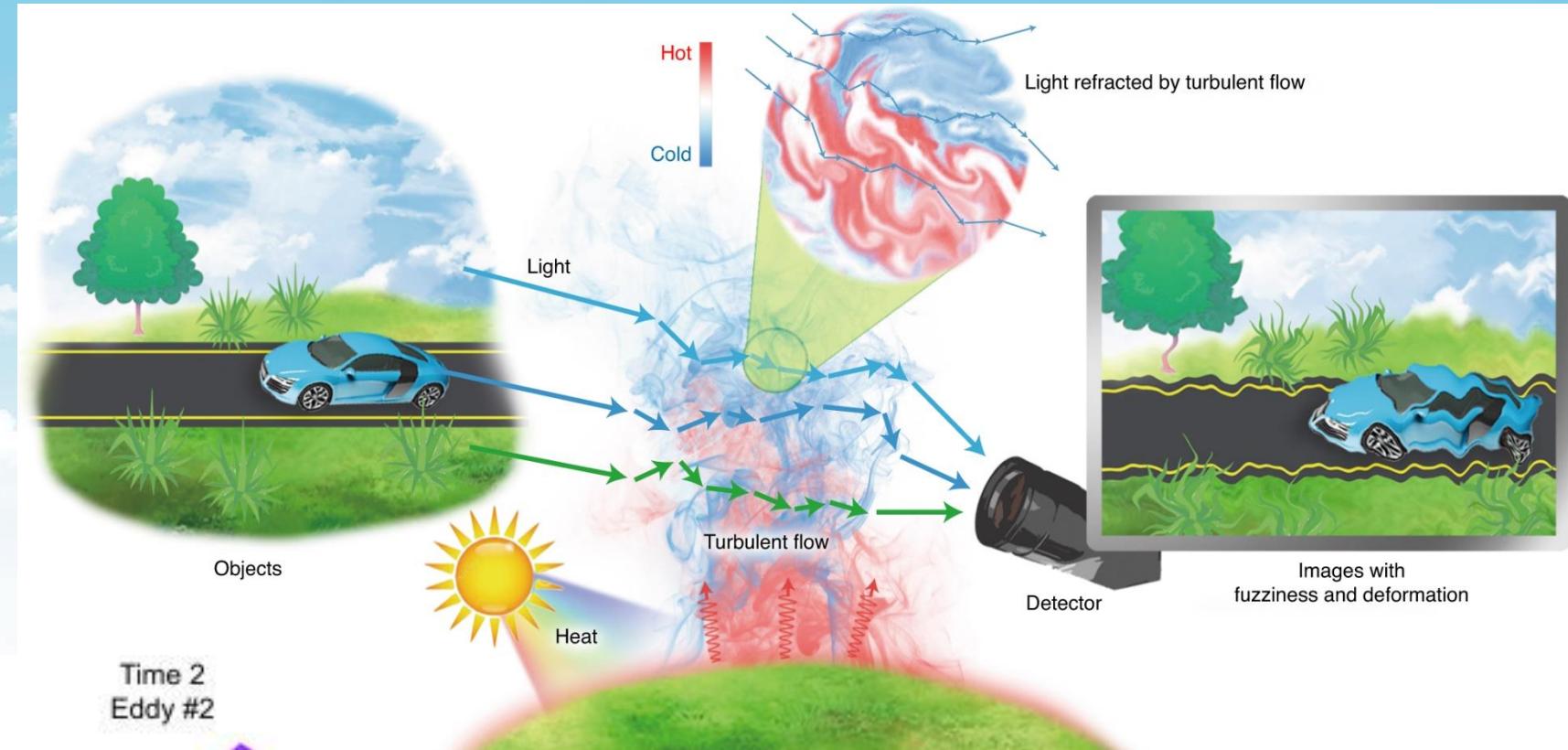
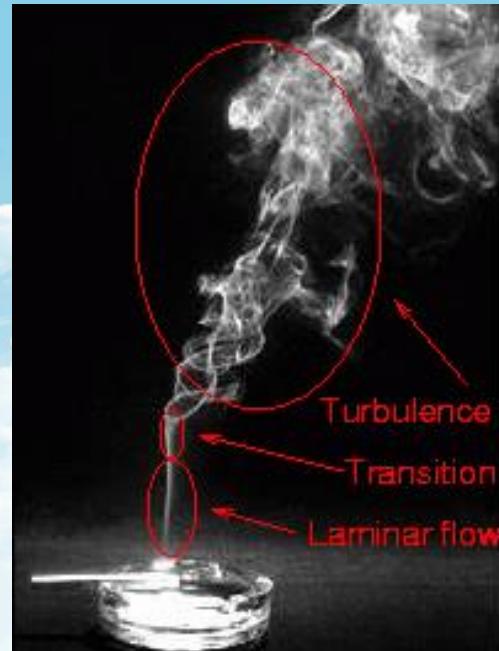


- Микроклимат территории определяется ее тепловым балансом, в который входят турбулентные потоки тепла (Q_h , Q_e).
- Потоки тепла, влаги и импульса – ключевые параметры взаимодействия атмосферы с поверхность, которые нужно описывать в моделях.
- Основным методом измерения турбулентных потоков является метод ковариации турбулентных пульсаций (eddy covariance).
- Для проверки моделей важны измерения выше уровня крыш, позволяющие измерить потоки от городского ландшафта в целом.
- Такие измерения требуют установки дорогостоящих мачт.

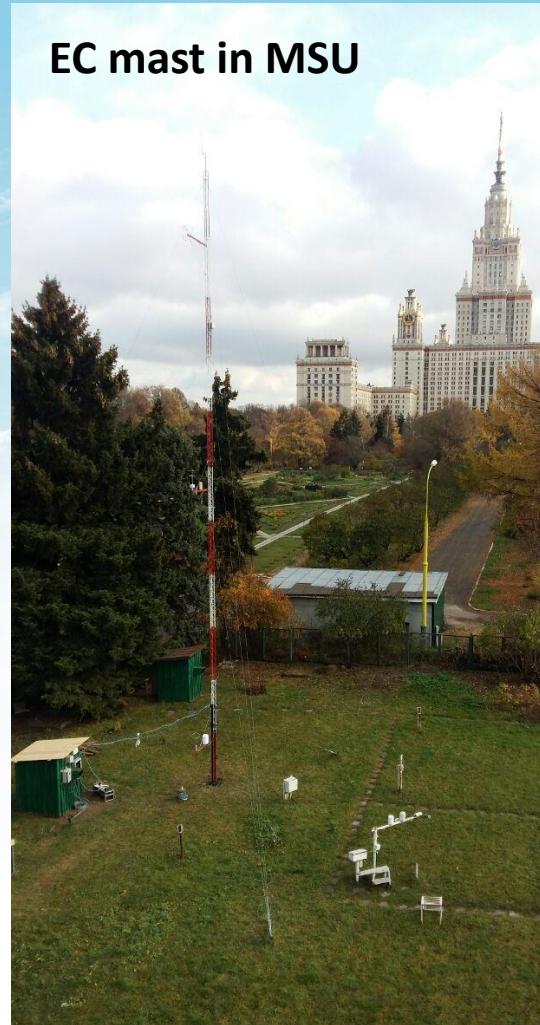


Эксперимент BUBBLE
(Boundary Layer Measurements in Basel, [Rotach et al., 2005](#))

Турбулентный энергообмен



Наблюдения за энергообменом



Наблюдения за энергообменом

MoscowMSU
real-time data

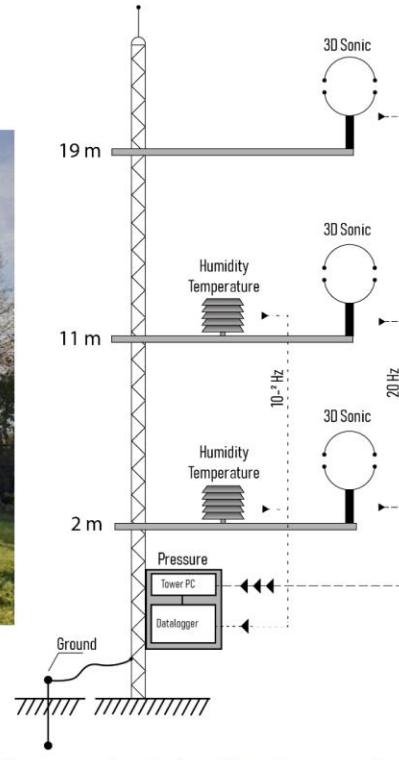
LEVEL 2.0 m
Acoustic anemometer

LEVEL 11.0 m
Acoustic anemometer

LEVEL 18.8 m
Acoustic anemometer

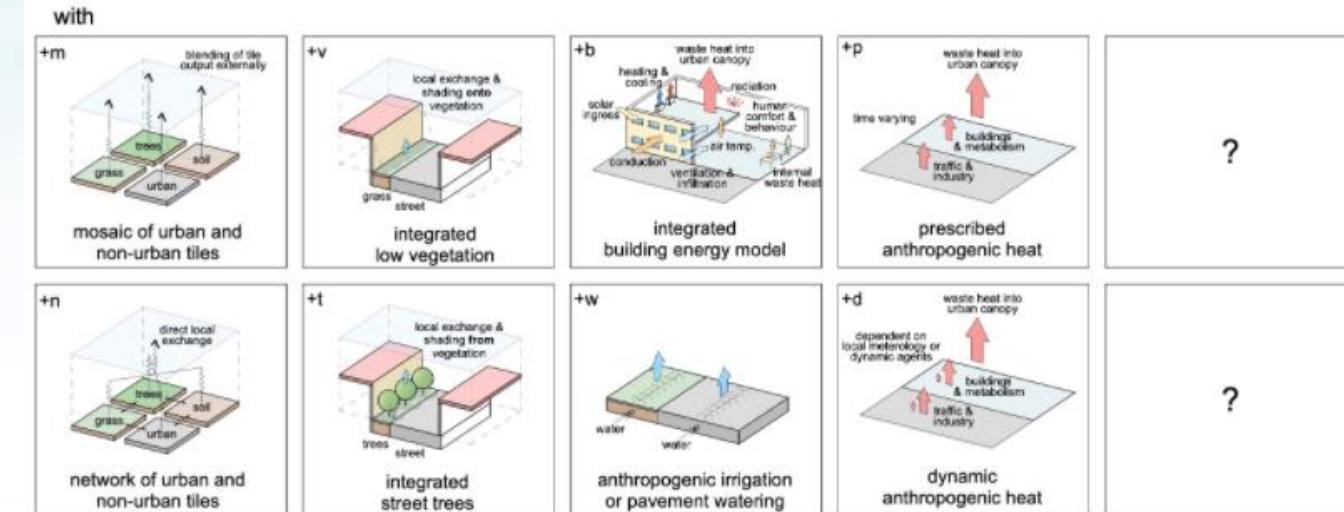
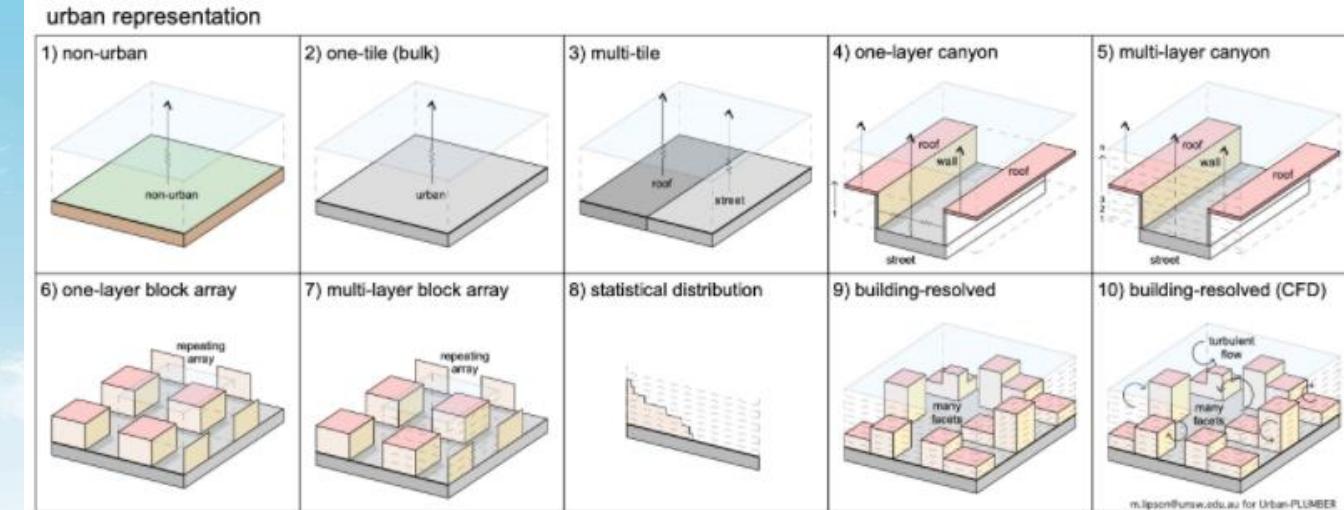
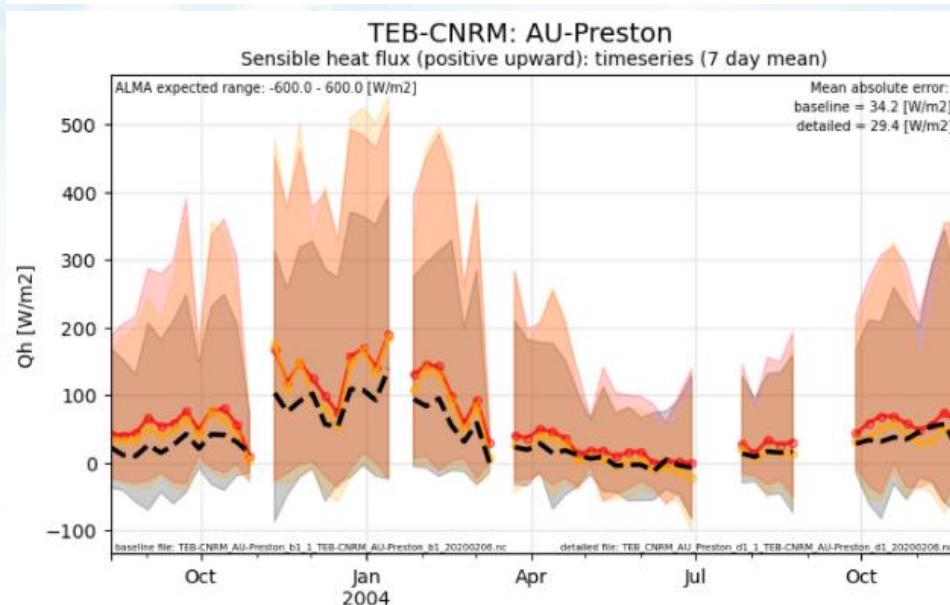
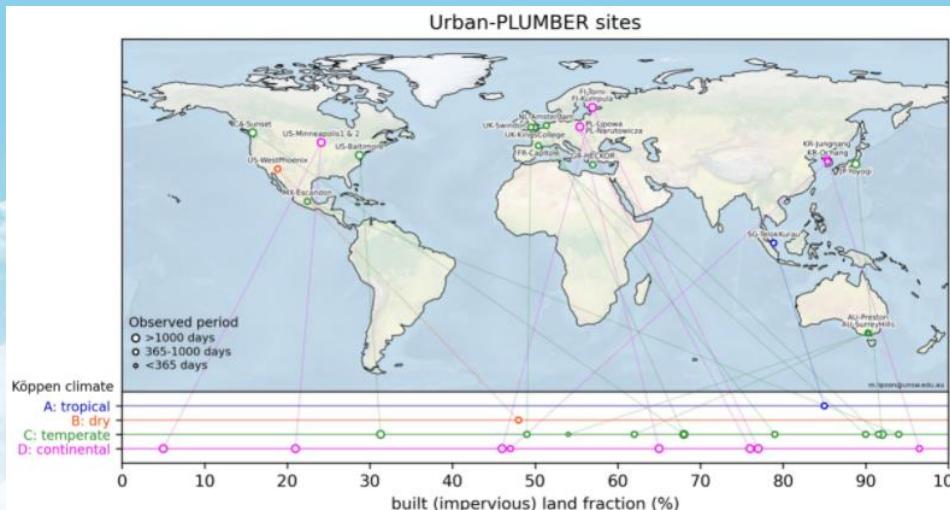
TOWER STATE

MoscowMSU description



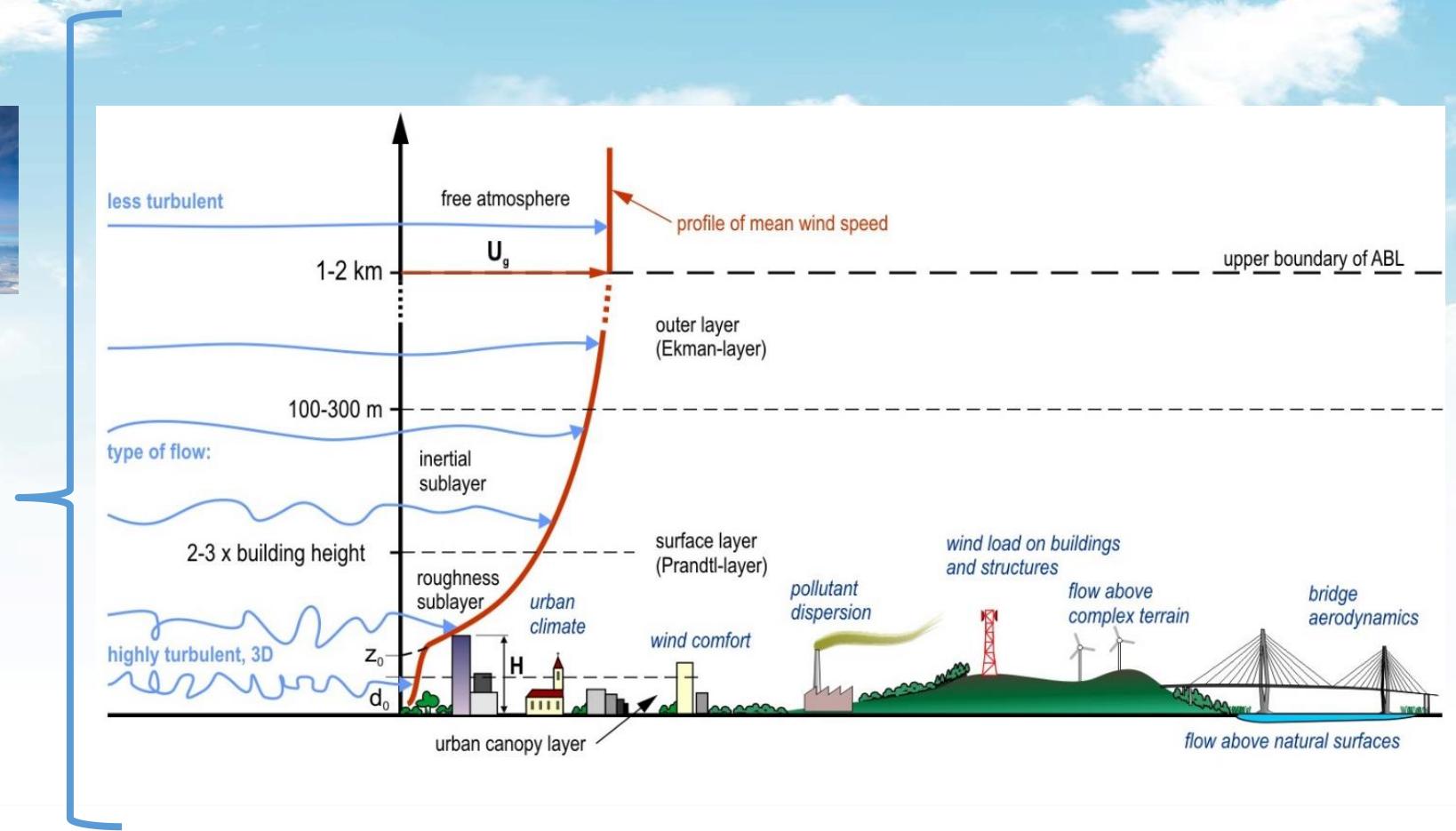
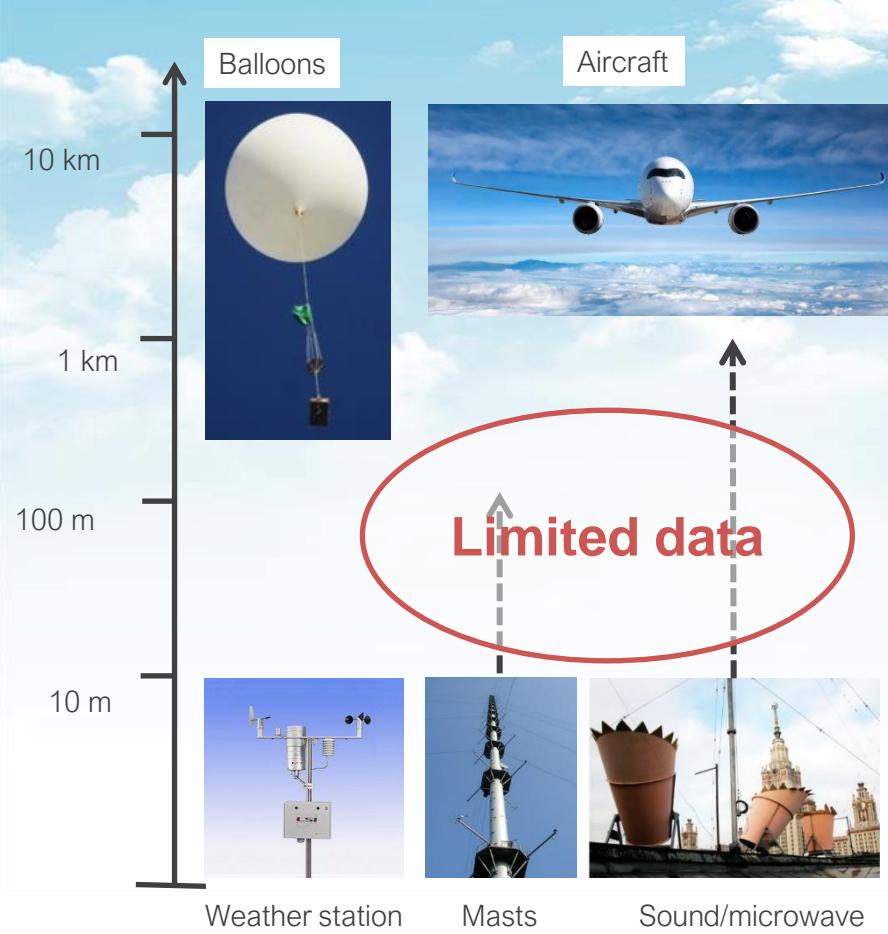
The 22 m tower at the corner of MSU Meteo Observatory area. Currently contains 3 levels of acoustic anemometers (A1, A2 and A3) mounted at 2, 11, and 19 m. We also have a bunch of other stuff (like humidity measurements etc) but haven't connect them to the server yet.

Наблюдения за энергообменом

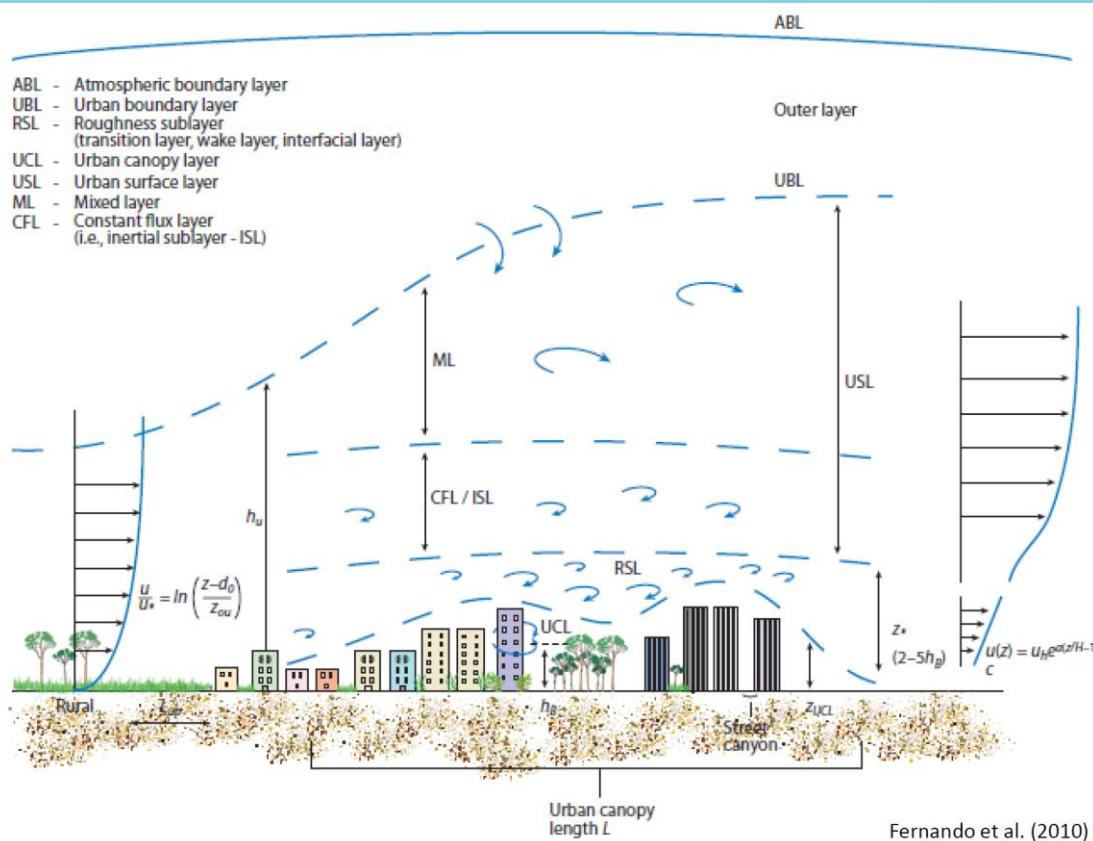


Наблюдения в пограничном слое

Дефицит данных наблюдений выше уровня крыш



Наблюдения в пограничном слое



Наблюдения в пограничном слое

- Пограничный слой атмосферы – до 2-3 км
- Городские наблюдения в погранслое проводятся, но очень редки
- Основное ограничение – стоимость оборудования
- Получаемые данные – не прямые измерения, а результат решения обратной задачи

Urban Boundary-layer Atmosphere Network

Helsinki UrBAN The network Data archive list Data archive plots People Publications Workshops

The Network

Helsinki is the capital city of Finland (northern Europe). For a summary, see our [overview poster](#). Here is a brief list of our observations of Helsinki's boundary-layer atmosphere:

- Eddy-covariance stations (fluxes of momentum, sensible heat, latent heat, gases and particulates) - e.g. [SMEAR-III](#)
- Scanning doppler lidar (HALO Photonics Streamline)
- Vertically-pointing sodar (LATAN-3 1D)
- Dual-beam scintillometers (Scintec BLS-900)
- Short-path laser scintillometer (Scintec SLS-40A)
- Thermal imaging camera
- Vaisala ceilometers
- Metek SODAR with RASS extension

<https://urban.fmi.fi/index.html>

PANAME

PAris region urbaN Atmospheric observations and models for Multidisciplinary rEsearch

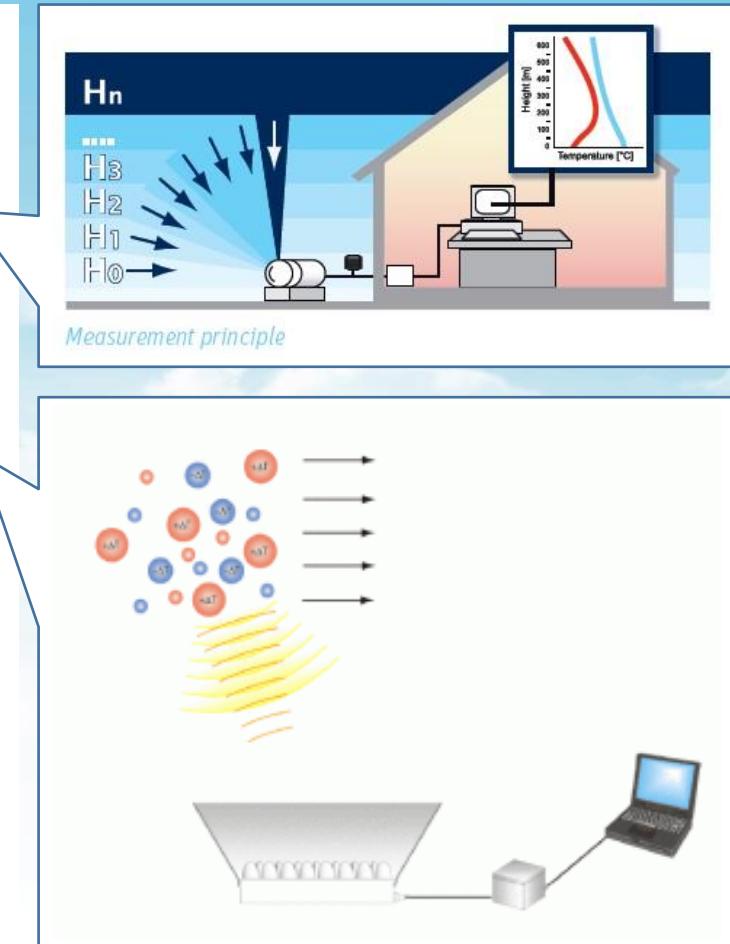
<https://paname.aeris-data.fr/>

PANAME project overview

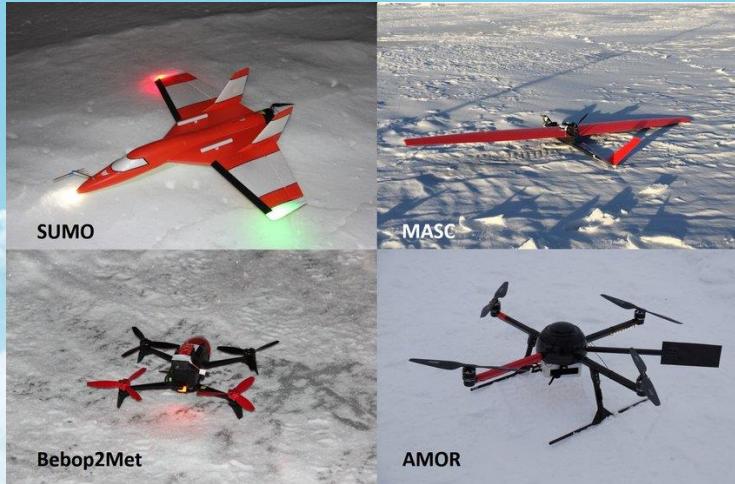
Air quality, urban weather and climate. The PANAME initiative ("PAris region urbaN Atmospheric observations and models for Multidisciplinary rEsearch") is a coordination effort involving several ongoing multidisciplinary research projects that aim to better understand atmospheric sources and chemical processes, as well as interactions between the structure of the city and processes in the atmospheric boundary layer of the urban environment of the Paris region. Anthropogenic and biogenic emissions, land use and city structures, the many interactions and feedbacks between processes, all have impacts on air quality, the climate in the city, meteorological phenomena, and therefore the exposure of inhabitants to these sometimes-extreme conditions (pollution, heat waves, storms, precipitation).

Наблюдения в пограничном слое

Instrument system	Principle of operation	Purpose
Radiometer	Solar or infrared radiation	Passively measures radiant fluxes. Facing upwards instrument 'sees' down-welling fluxes. Facing downwards it 'sees' radiation emitted and/or reflected from the surface.
Radar	Radiowaves	Locates and tracks the movement of suspended materials in the atmosphere. Can be used to acquire information on airflow, aerosols, clouds and precipitation.
Sodar	Soundwaves	Measures the wind field in the urban atmosphere. Can be used to estimate the vertical wind profile and the turbulent state of the atmosphere up to a few hundred metres.
Microwave wind profiler	Microwaves	Measures the wind field (can include all three components) in the atmosphere and the overlying troposphere. Can be used to estimate the turbulent state of the atmosphere.
RASS	Microwaves / Soundwaves	A combination of sodar and microwave wind profiler. Measures simultaneously air temperature and wind profile in the atmosphere up to at least 1.5 km.
Lidar	Light (Monochromatic laser)	Facing upwards, locates aerosols and clouds droplets. Can be used to determine mixing depth, cloud base and thermal inversions. By tracking movements of aerosols some systems can also infer wind and turbulence. Facing downwards, it can acquire a digital surface model of an urban environment (e.g. buildings, trees).
Scintillometer	Light (Monochromatic laser)	Measures the refractive index of air which changes with turbulent air temperature and humidity fluctuations. Oriented horizontally it can be used to obtain area-averaged convective fluxes over an urban area.



Наблюдения в пограничном слое



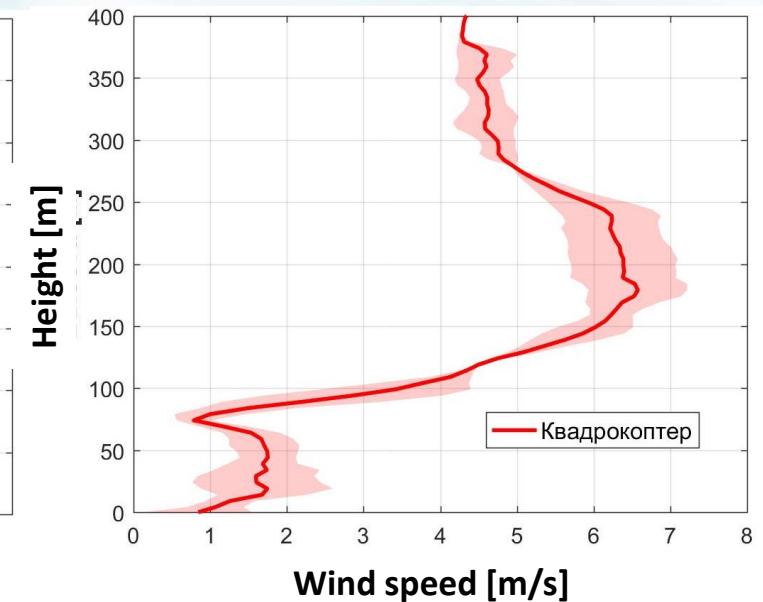
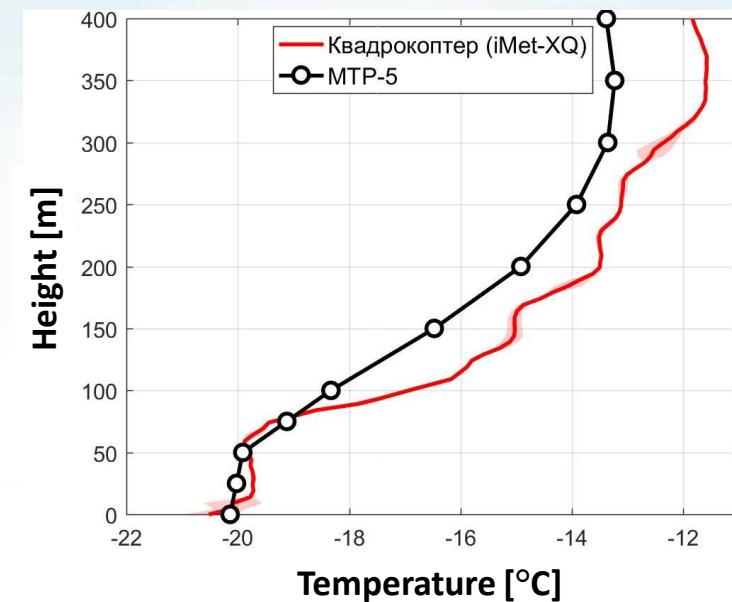
CopterSonde (Segales et al., 2020)



Meteodrone
(www.meteomatics.com)



Measurements with mass-market DJI drones
by MSU and IAP team



Наблюдения в пограничном слое



Meteodrone SSE

Number of engines	6
Take-off weight	ca. 1.1 kg
Dimensions	40 x 40 cm
Max. climb rate	10 m/s
Max. wind speed	100 km/h
Max. flight altitude*	1'500 m
Max. flight duration	ca. 12 min

Measured parameters:

- Sample rate	250 ms	250 ms	250 ms
- Temperature	✓	✓	✓
- Wind speed	✓	✓	✓
- Wind direction	✓	✓	✓
- Dew point	✓	✓	✓
- Air pressure	✓	✓	✓

Optional parameters:

- Particular matter/ black carbon	X	✓	✓
- Ozone	X	✓	✓
- Radioactivity	X	✓	✓

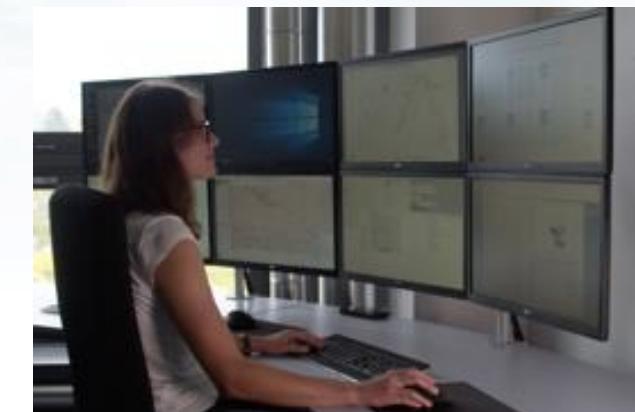


Meteodrone MM-670



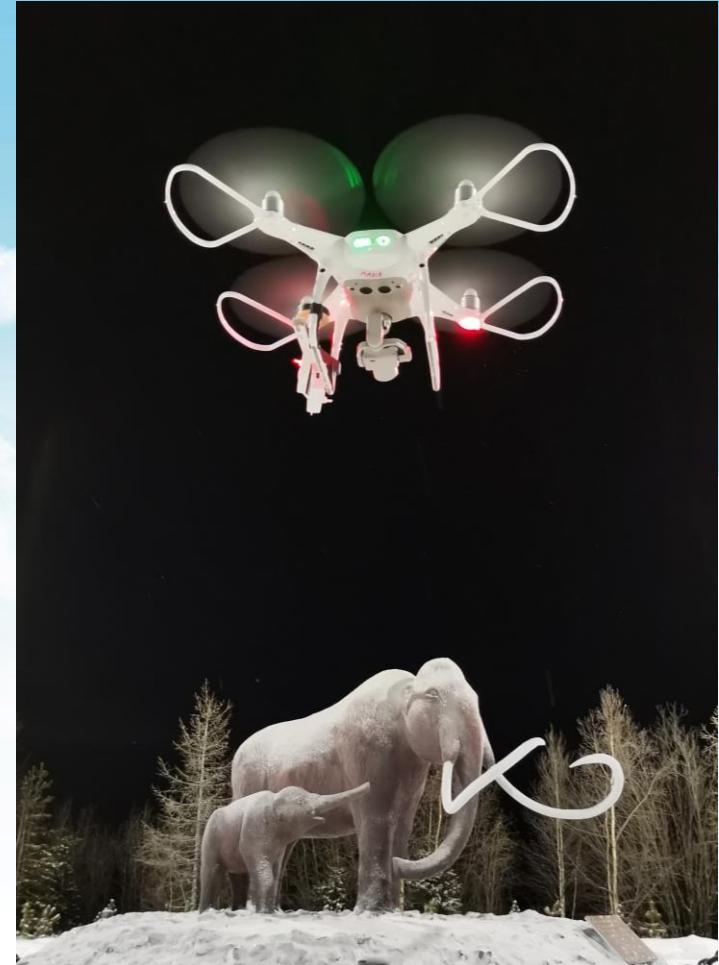
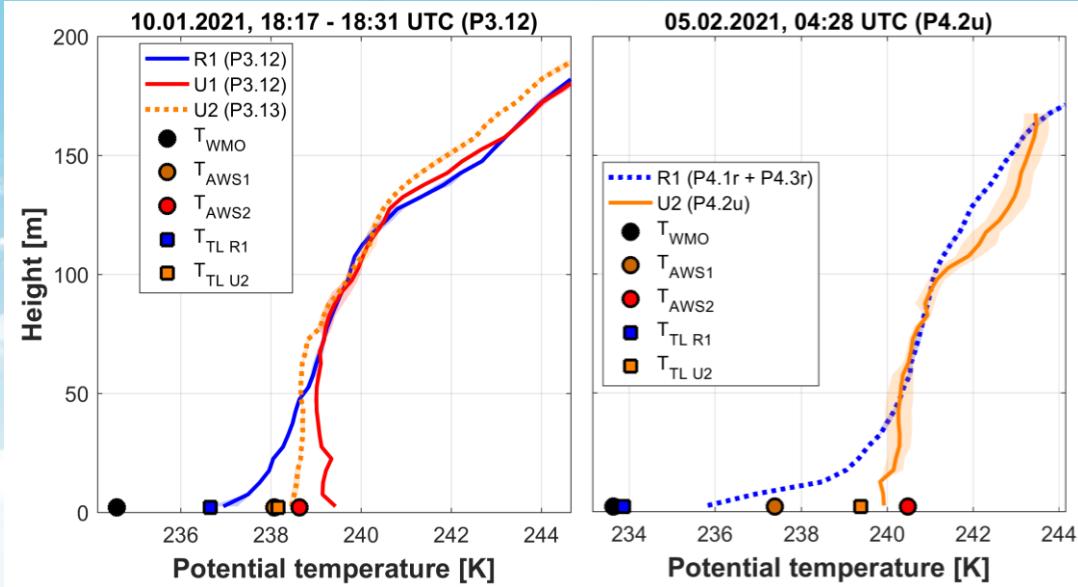
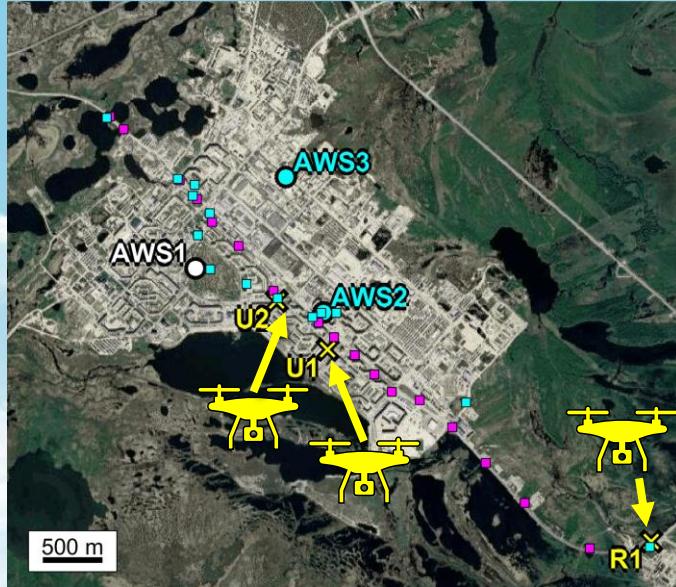
Meteodrone MM-670 ML

MeteoBase – a remote platform



Our flight operations center

Наблюдения в пограничном слое



Observations of the urban boundary layer in a cold climate city

Mikhail Varentsov^{a, bc, *}, Pavel Konstantinov^a, Irina Repina^{a, b, c}, Arseniy Artamonov^b, Alexander Pechkin^d, Andrei Soromotin^e, Igor Esau^f, Alexander Baklanov^g

Доступ к данным

- Научные публикации
- Веб-сайты научных организаций
- Репозитории
 - <https://zenodo.org/>
 - <https://figshare.com/>
 - <https://github.com/>
 - <https://www.researchgate.net/>

The screenshot shows a Zenodo dataset page. At the top, there's a navigation bar with the Zenodo logo, a search bar containing 'Search records...', and links for 'Communities' and 'My dashboard'. Below the search bar, it says 'Published March 15, 2023 | Version v1' and features two buttons: 'Dataset' and 'Open'. The main title of the dataset is 'Hourly Air Temperature Datasets from city of Novi Sad - NSUNET system'. Below the title, it lists four contributors: Stevan Savic¹ (ID), Ivan Secerov¹ (ID), Jelena Dunjic¹ (ID), and Dragan Milosevic¹ (ID). There are 'Show affiliations' buttons next to each name. Further down, it shows 'Data collector: Jelena Dunjic¹ (ID)' and 'Data manager: Ivan Secerov¹ (ID)'. A detailed description follows: 'This dataset captures hourly air temperature data from 12 urban sites in Novi Sad (Serbia) over a period of 2 years covering 2016 and 2017 (measurement time is in UTC). There are 2 datasets in the collection: one dataset provides details about the 12 sites at which the temperature sensors are placed (Table 1, excel file), while the second file contains air temperature data at the 12 locations (.csv file). In all, the second dataset contains 17,544 instances of air temperature data. The temperature data has been cleaned and gap-filled so there are 24 measures at each site for each day. There are multiple potential uses for this data. It can provide insights when trying to understand intra-urban and inter-urban research, urban climate modeling on local or micro scales, heat-related public health investigations and urban environment inquiries. It can also be used in machine learning experiments, for example, to test the accuracy of classification algorithms or to build and validate spatio-temporal machine learning functions, either for classification purposes or for gap filling.'

Дистанционное зондирование из космоса



Дистанционное зондирование Земли



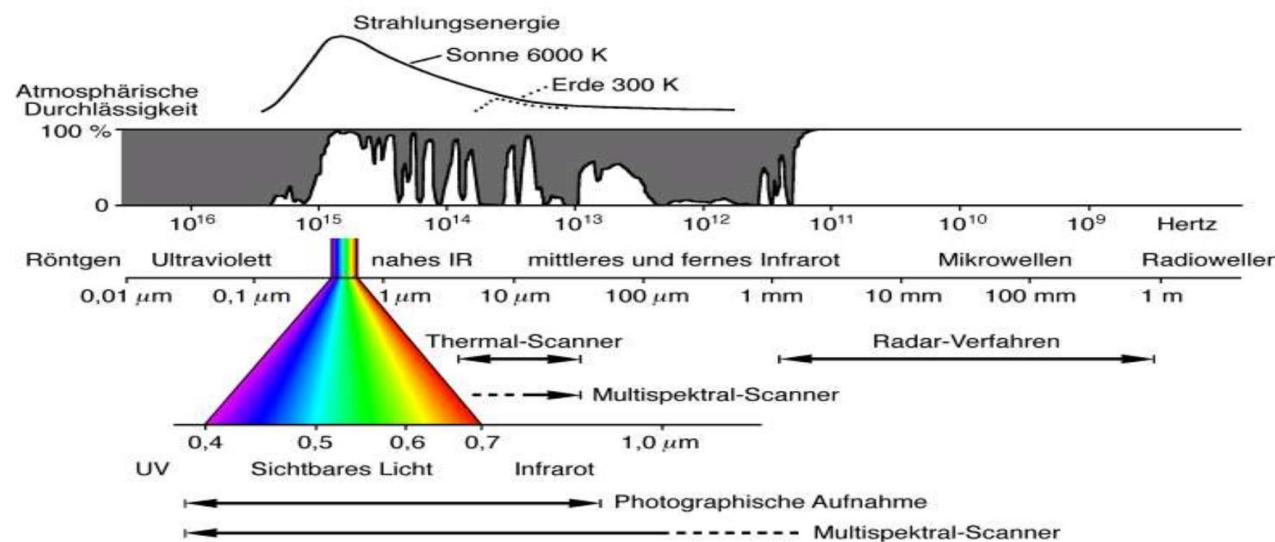
reflected



emitted



active



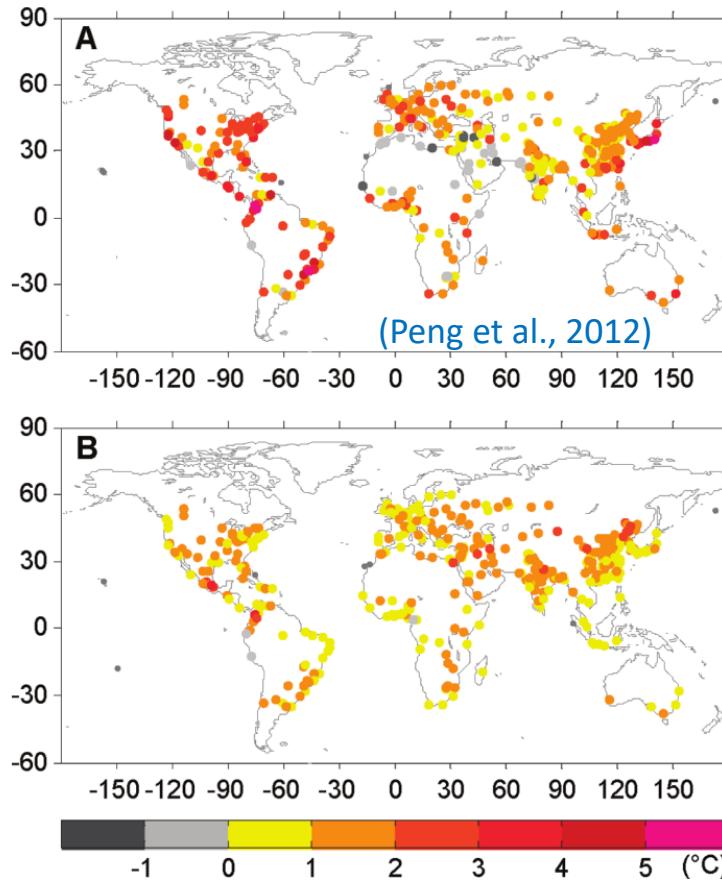
$$L_\lambda(T) = \varepsilon_\lambda B_\lambda(T)$$

"LST is often referred to as the "skin" temperature, or radiometric temperature, and should not be confused with near surface air temperature, which is the temperature of the air near the surface as routinely measured at meteorological stations and included in daily weather reports. Instead, the **LST is a direct measure of how hot or cold the surface of the Earth would feel to the touch.** For bare soil surfaces, the LST is the temperature of the top few micrometers of the soil surface, while for dense vegetation it is the temperature of the leaves of the canopy. For sparse vegetation, it is the ensemble temperature of the canopy, the understory (limbs, branches, etc.), and the soil surface."

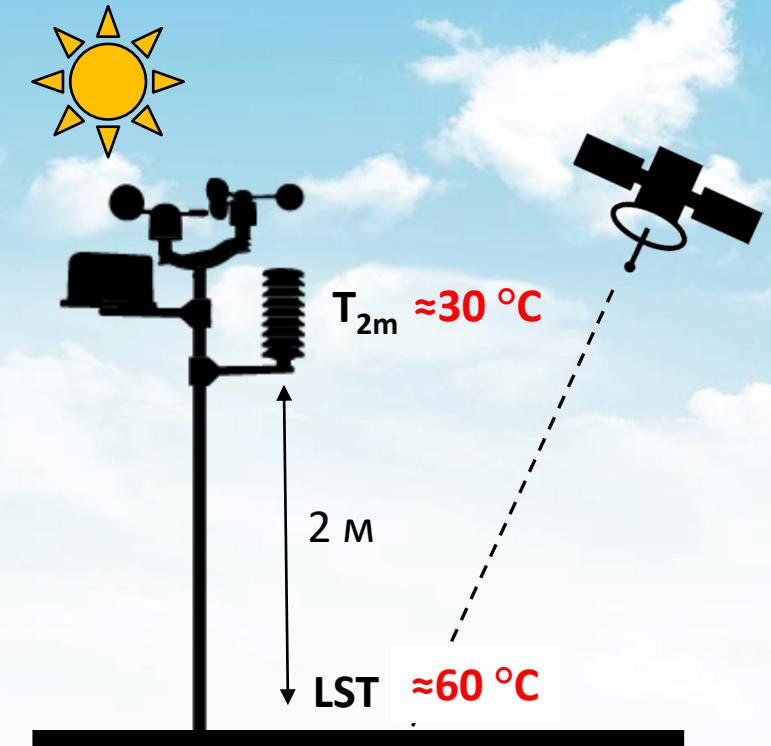
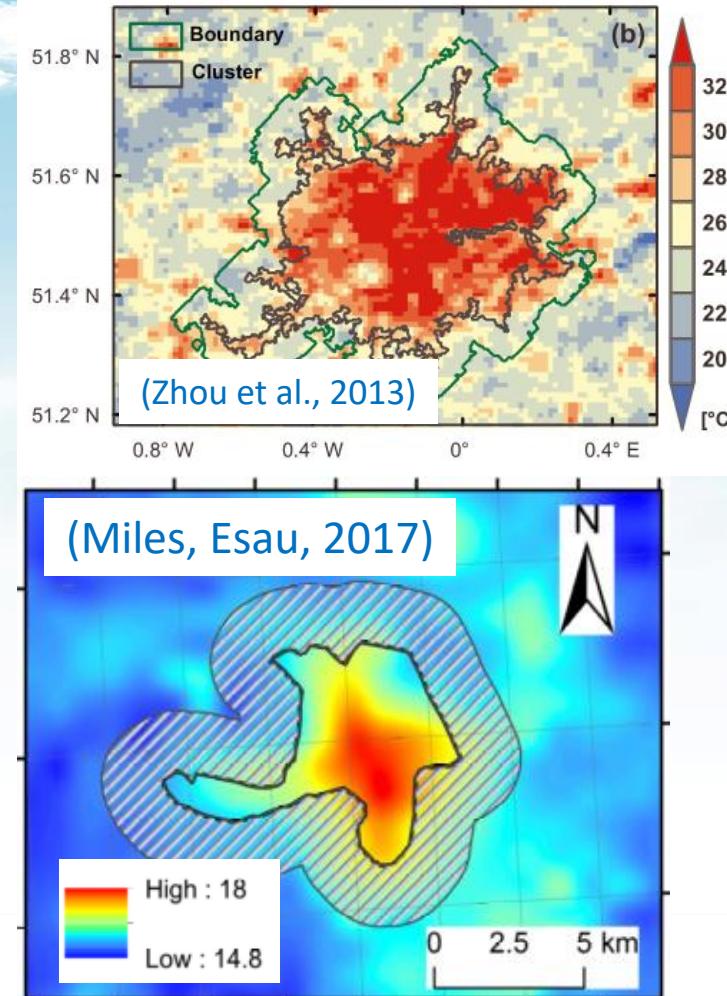


ДЗЗ в городской климатологии

Сравнение различных городов
в рамках единообразной методики



Детальное изучение
пространственных закономерностей

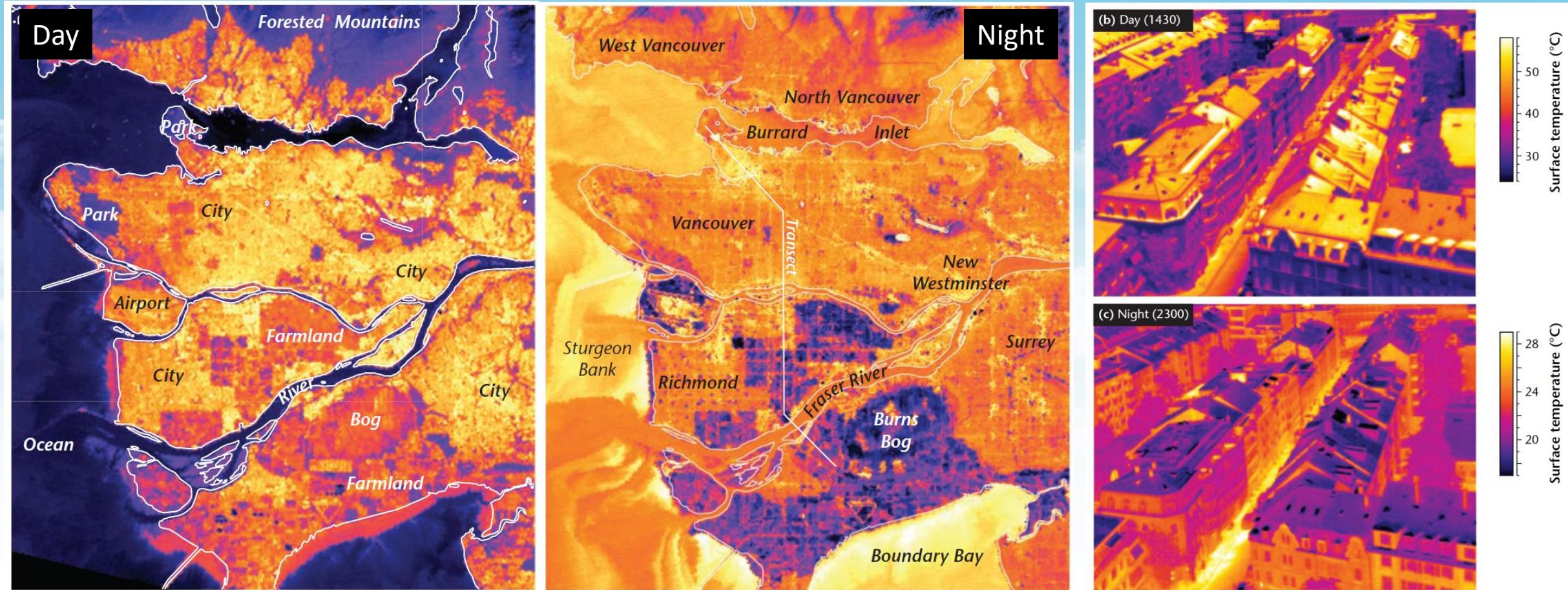


Но есть одно но...

Figure 2. Spatial distribution of (A) annual mean daytime SUHII ($^\circ\text{C}$) and (B) annual mean nighttime SUHII ($^\circ\text{C}$) averaged over the period 2003–2008 across 419 global big cities.

Городской остров тепла

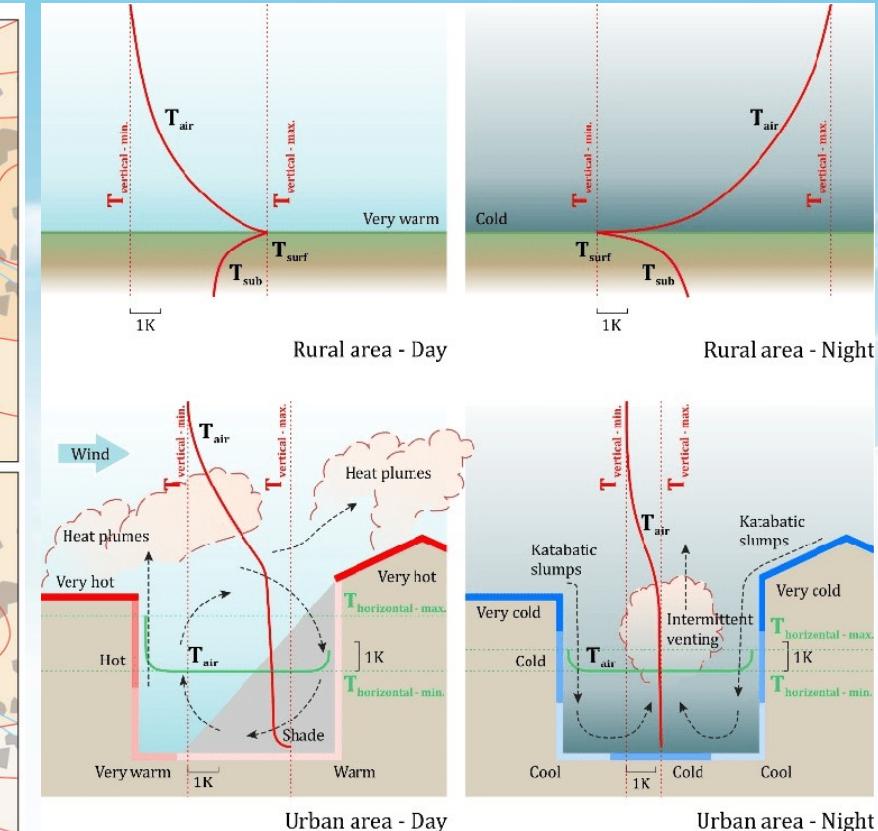
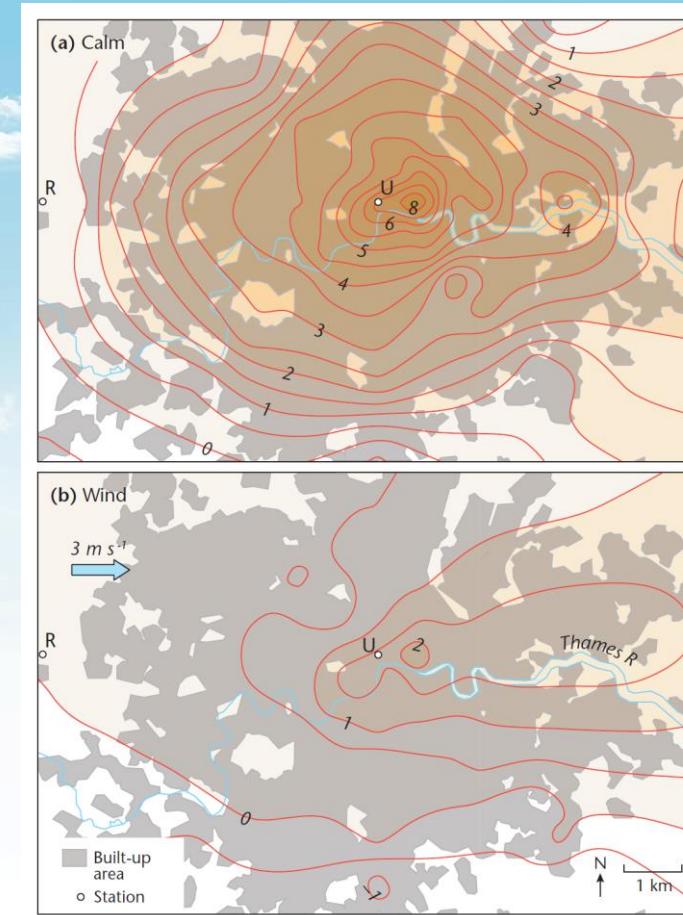
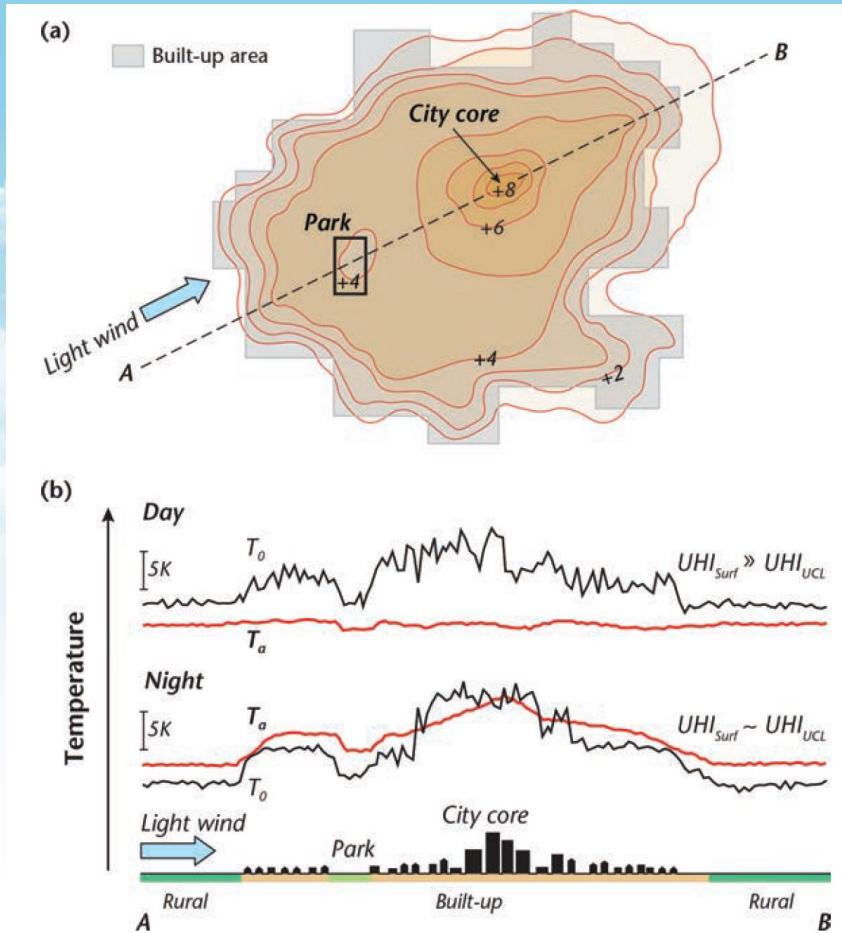
Поверхностный остров тепла (surface UHI)



Определяющее влияние локальных свойств поверхности
Высокая пространственная неоднородность

Городской остров тепла

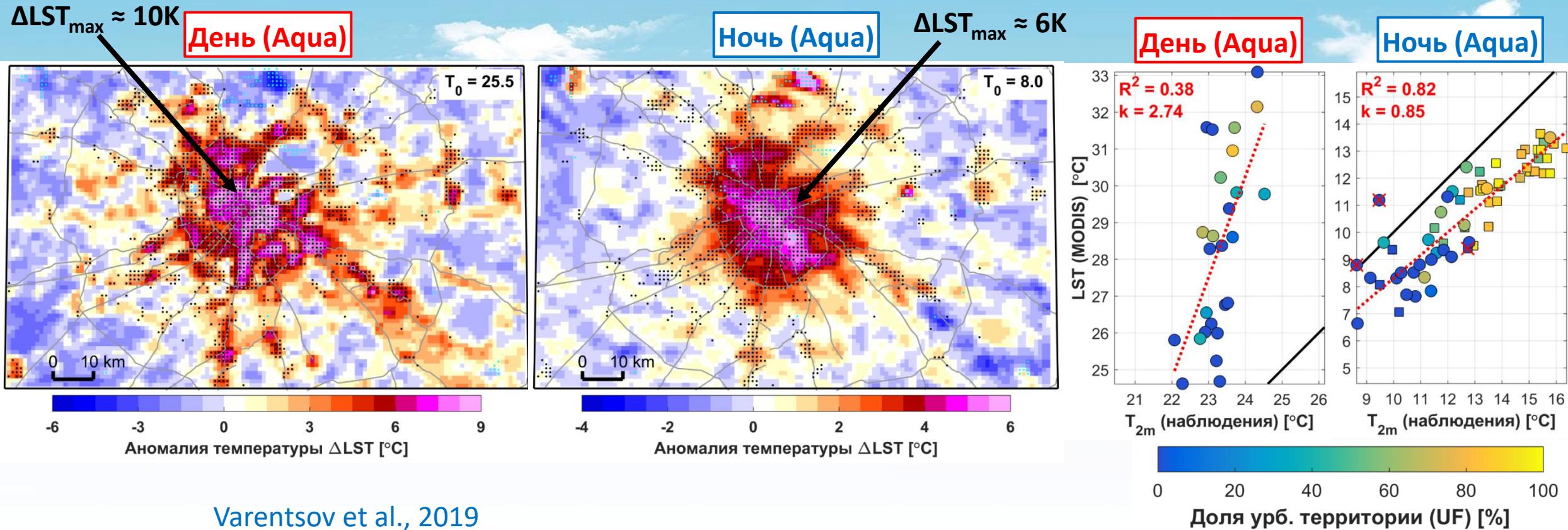
Приёмный остров тепла (canopy-layer UHI)



Характерный суточный ход

Высокая чувствительность к скорости и направлению ветра
Сглаженная структура, влияния нелокальных факторов

UHI vs SUHI



Varentsov et al., 2019

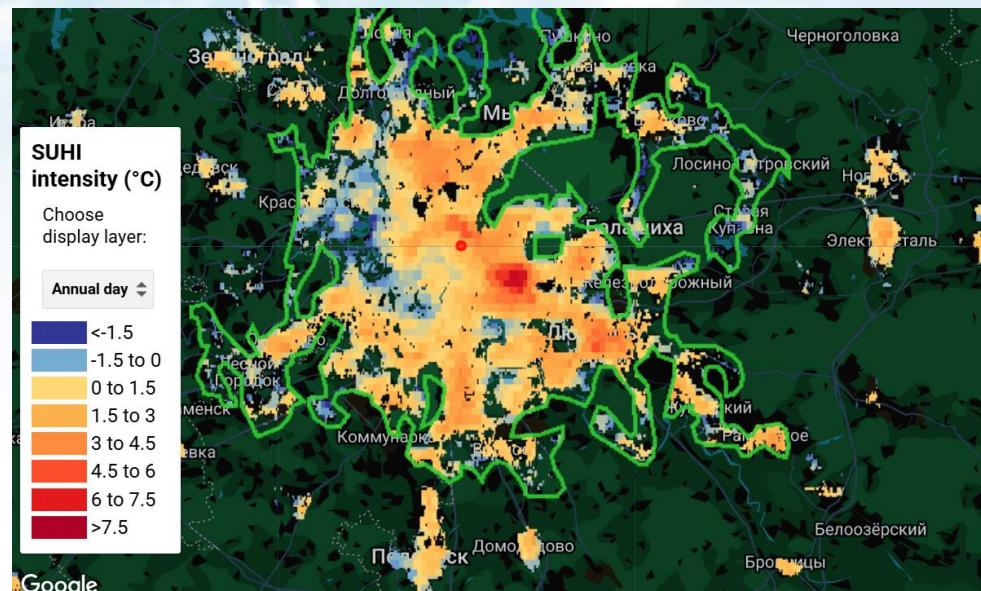
Базы данных на основе LST

Global Surface UHI Explorer

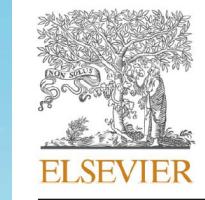
[Click here to go directly to the Global Surface UHI Explorer App](#)

Overview

The [Global Surface UHI Explorer](#) is an interactive web app to monitor urban heat island (UHI) intensities of practically all urban clusters on Earth. The app is built on the Google Earth Engine platform and allows users to query the UHI data of urban areas using a simple interface. The UHI dataset was created based on the simplified urban-extent (SUE) algorithm detailed in [Chakraborty and Lee, 2019](#).



<https://yceo.yale.edu/research/global-surface-uhi-explorer>



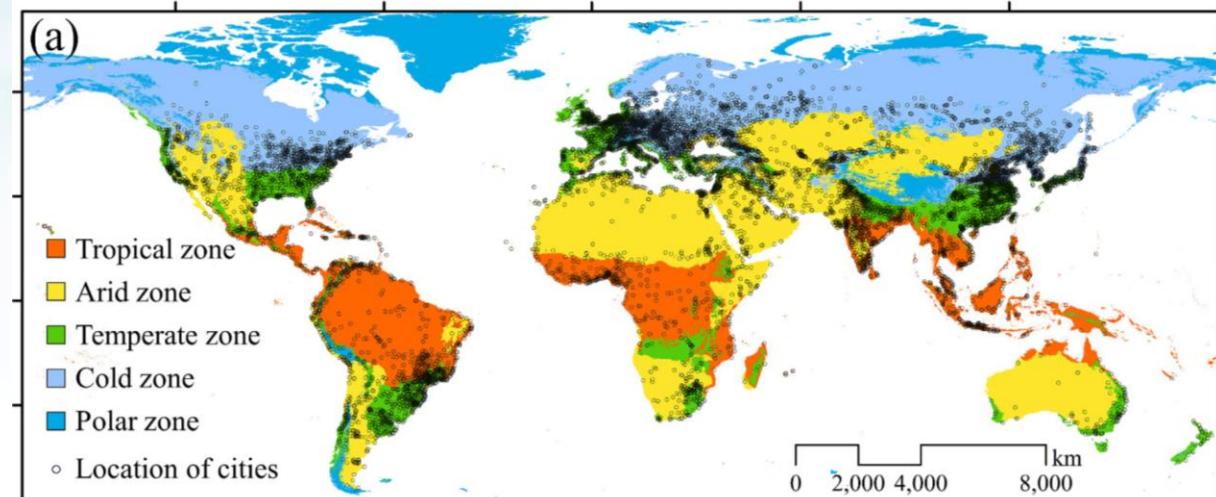
Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Remote Sensing of Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rse

A global urban heat island intensity dataset: Generation, comparison, and analysis

Qiquan Yang ^{a,b,c}, Yi Xu ^{a,*}, TC Chakraborty ^d, Meng Du ^e, Ting Hu ^e, Ling Zhang ^f, Yue Liu ^g, Rui Yao ^h, Jie Yang ^h, Shurui Chen ^b, Changjiang Xiao ^{b,c}, Renrui Liu ^a, Mingjie Zhang ^a, Rui Chen ^a

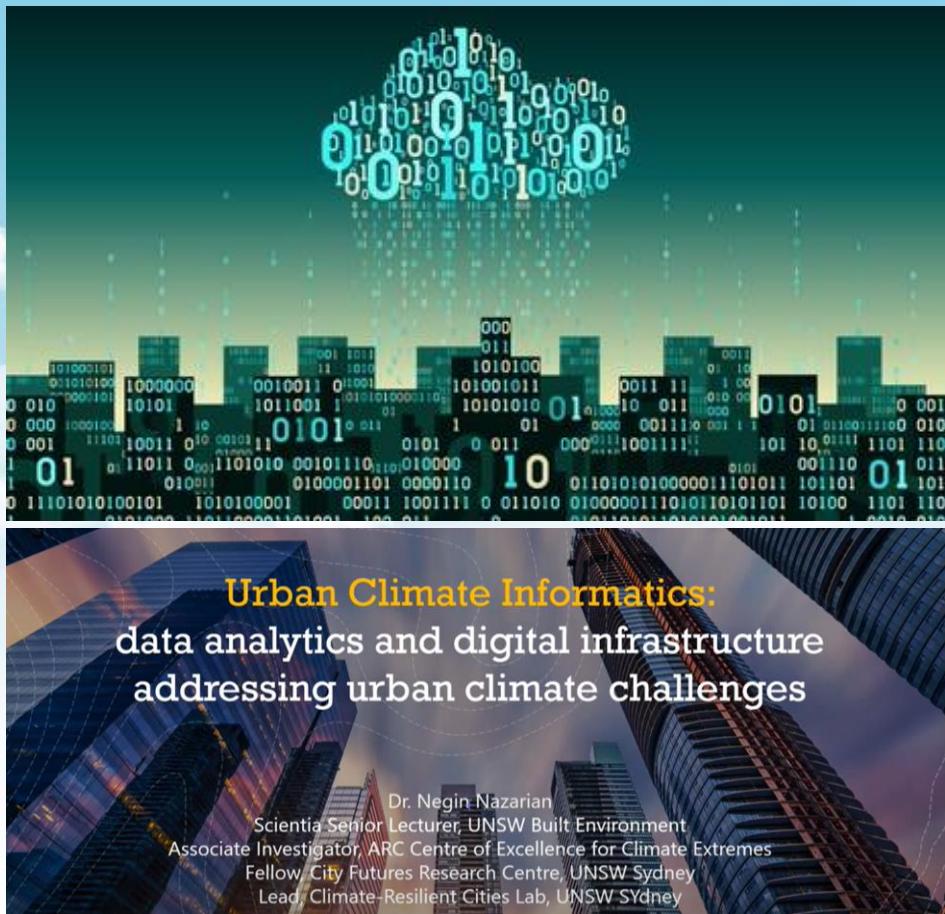


https://figshare.com/articles/dataset/Global_Urban_Heat_Island_1ntensity_Dataset/24821538

Нетрадиционные источники данных



Новые источники данных



Urban Climate Informatics: data analytics and digital infrastructure addressing urban climate challenges

Dr. Negin Nazarian
Scientia Senior Lecturer, UNSW Built Environment
Associate Investigator, ARC Centre of Excellence for Climate Extremes
Fellow, City Futures Research Centre, UNSW Sydney
Lead, Climate-Resilient Cities Lab, UNSW Sydney

Advances in Sensors

- Advances in wireless data transmission
- Low power design (reduced static/dynamic consumption)
- Reduced size
- Location awareness
- Higher resolution

- Humans as sensors
- Novel non-obtrusive smart devices and applications
- New sensing methods (e.g., mobile, body-worn, garments, drones, CubeSats, LIDAR, MLS)
- Methods across scales

Novel Data Sources

- Government or commercial urban data (3D building models)
- Community generated and curated data
- Incidental data (social media, consumer data)
- Public domain data (web scraping)

- Internet of Things (IoT), Web of things (WoT), Internet of Everything (IoE)
- Secure data transmission and system protection
- Real-time data integration in dashboards and digital twins

Increased Accessibility

UCI Applications

- Climate-sensitive urban design and planning
- Development of adaptation and mitigation strategies for urban climate challenges (such as heat and air quality)
- More comprehensive vulnerability and inequity analyses
- Improving human health and wellbeing through human-centric approaches

- Proxy calculation and modeling using novel data sources (e.g., Google Street View)
- Pattern recognition of environmental impacts based on open data sources (e.g., Facebook/Twitter)
- Novel open-source data formats and standards (e.g. CityGML)

Advances in Digital Infrastructure

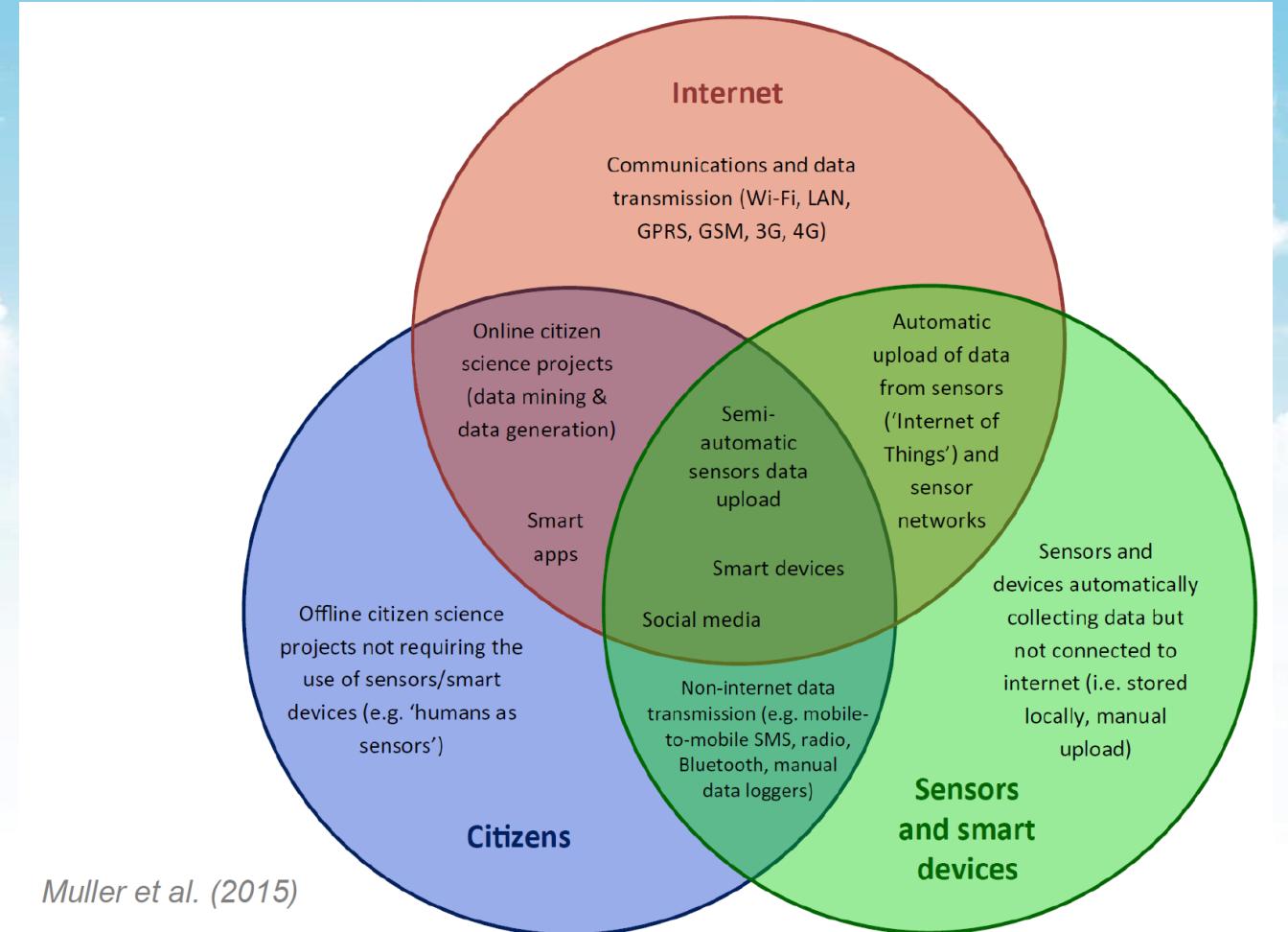
- Cloud computing
- Edge computing
- Increased computational power and efficiency
- Increased storage capacity
- Improved communication networks

- On-demand cloud computing and APIs (e.g., AWS, Azure)
- Real-time data analytics
- Public/scientific cloud computing, visualization, and analytics platforms (e.g., Google Earth Engine)
- Cloud-based climate modeling
- Digital twins of Earth/urban atmosphere

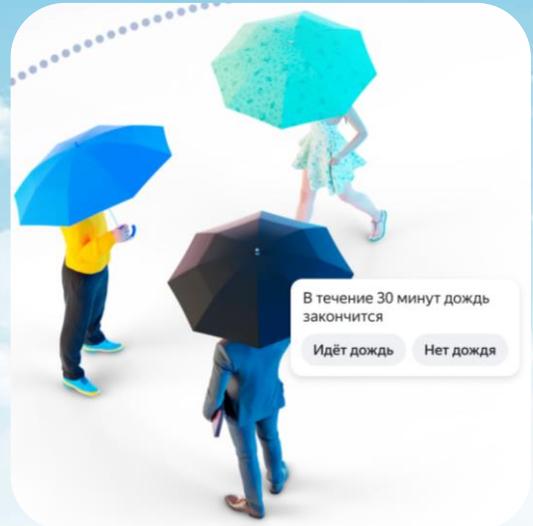
Advances in Analytical Algorithms & Platforms

- Artificial intelligence (including machine and deep learning)
- Augmented data management
- Procedural, predictive, and agent-based modeling
- Image processing

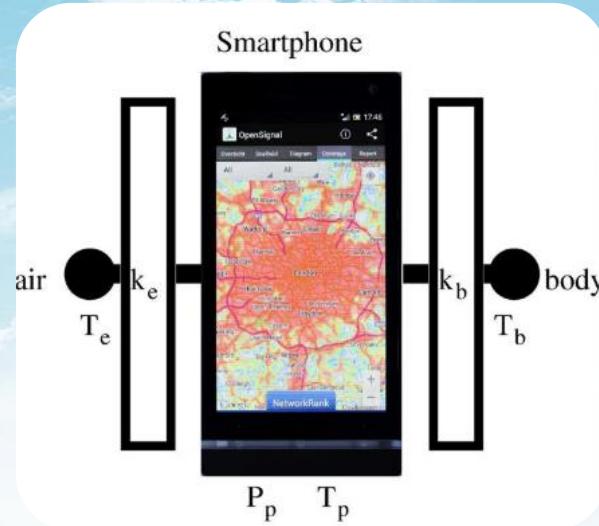
Новые источники данных



Новые источники данных



Сообщения
пользователей
(Яндекс.Погода)



Данные со смартфонов
(давление, температура)
(Droste et al., 2017)



Датчики дождя
в «умных» автомобилях
(Bartos et al., 2019)



Персональные метеостанции,
сети «народного мониторинга»

Персональные метеостанции Netatmo

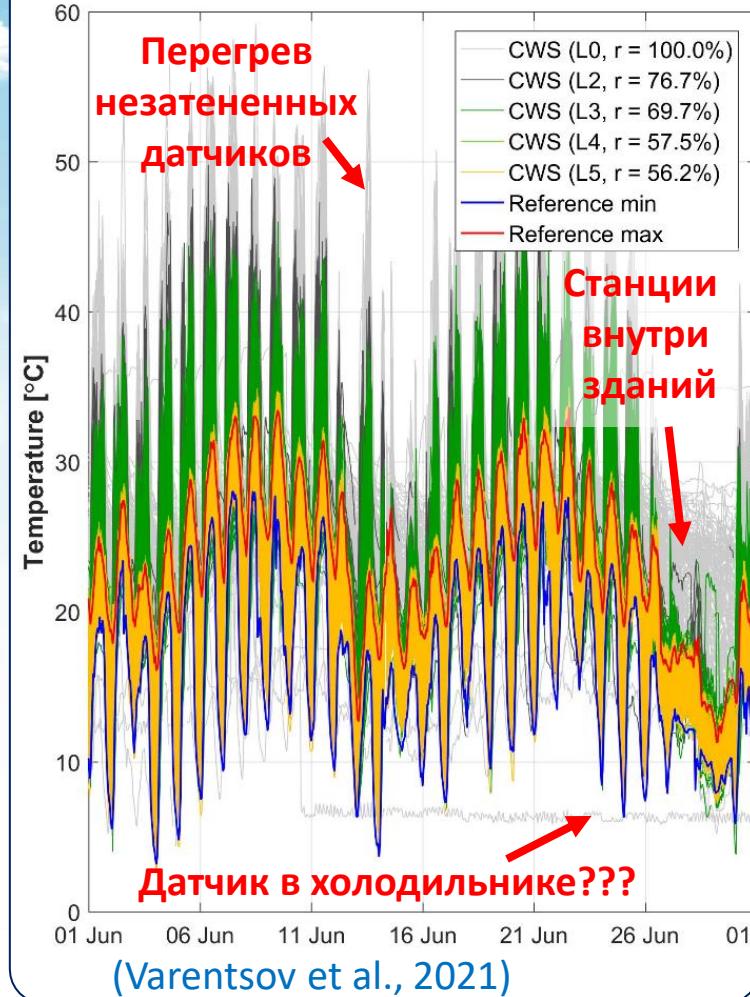
Метеостанции Netatmo

- ☐ IoT-гаджет вместо термометра за окном
- ☐ Тысячи метеостанций в крупных городах
- ☐ Доступ к данным через API
- ☐ Исследования городского климат (Chapman et al., 2017; Meier et al., 2017), уточнение прогноза погоды (Nippen et al., 2020)

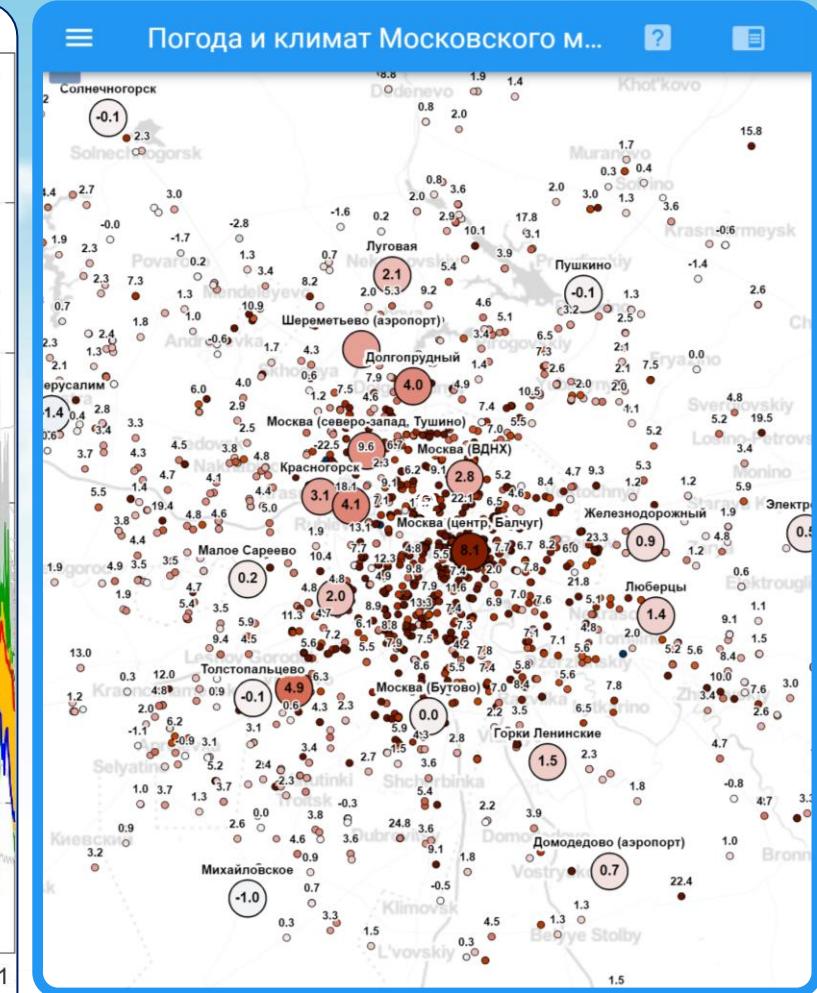


City	# CWS June 2018
Basel	940
Berlin	2100
Bern	650
Gothenburg	410
Hamburg	1190
Lisbon	150
London	830
Moscow	730
Paris	6380
Toulouse	720

Проблема качества данных



Пример для Москвы



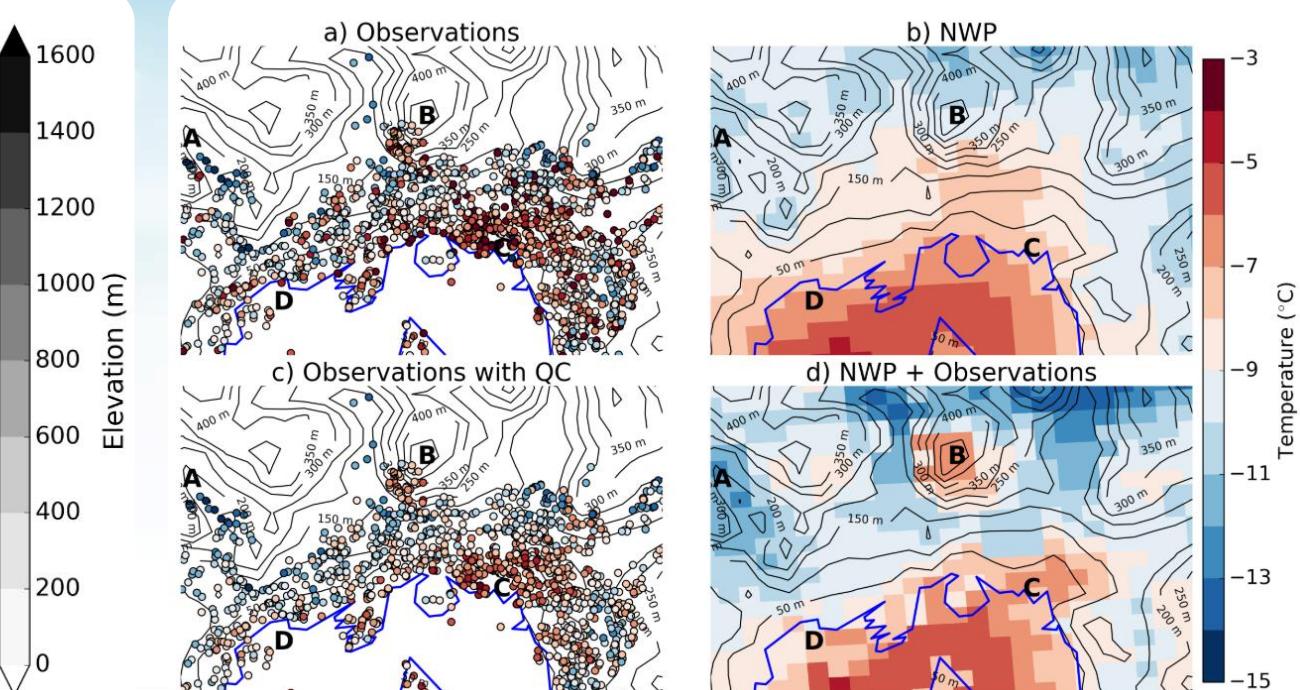
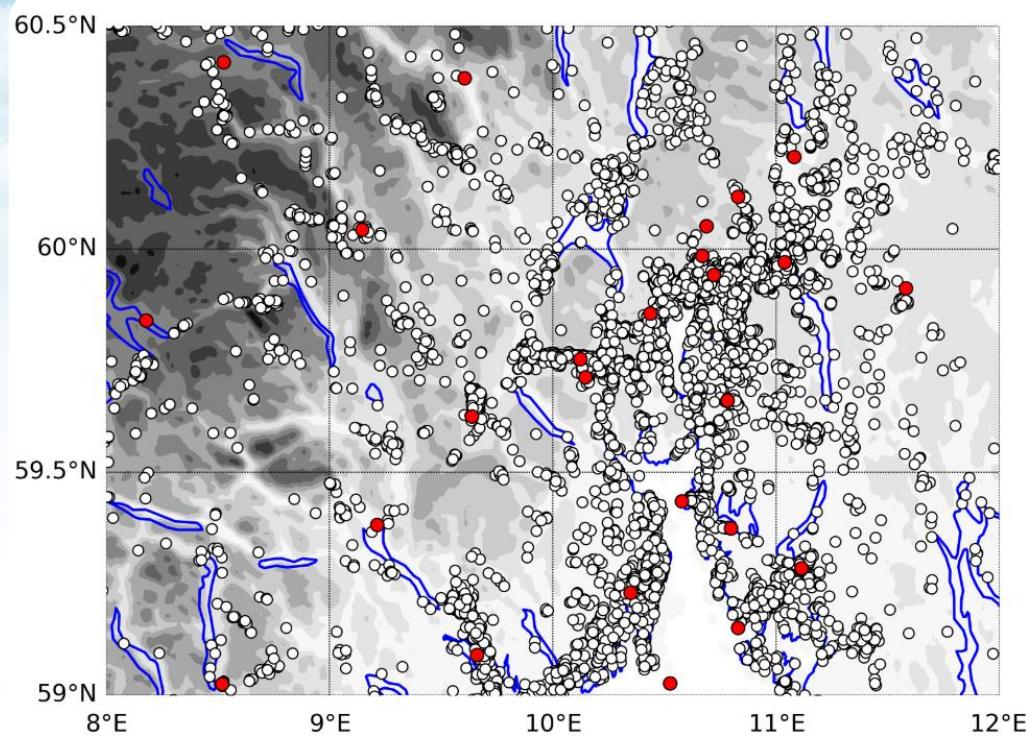
Персональные метеостанции Netatmo

Норвегия | Метеорологический институт

Оповещения от Yr теперь обновляются намного чаще и становятся более точными.

С сегодняшнего дня Yr будет иметь доступ к данным большого количества частных метеостанций по всей стране.

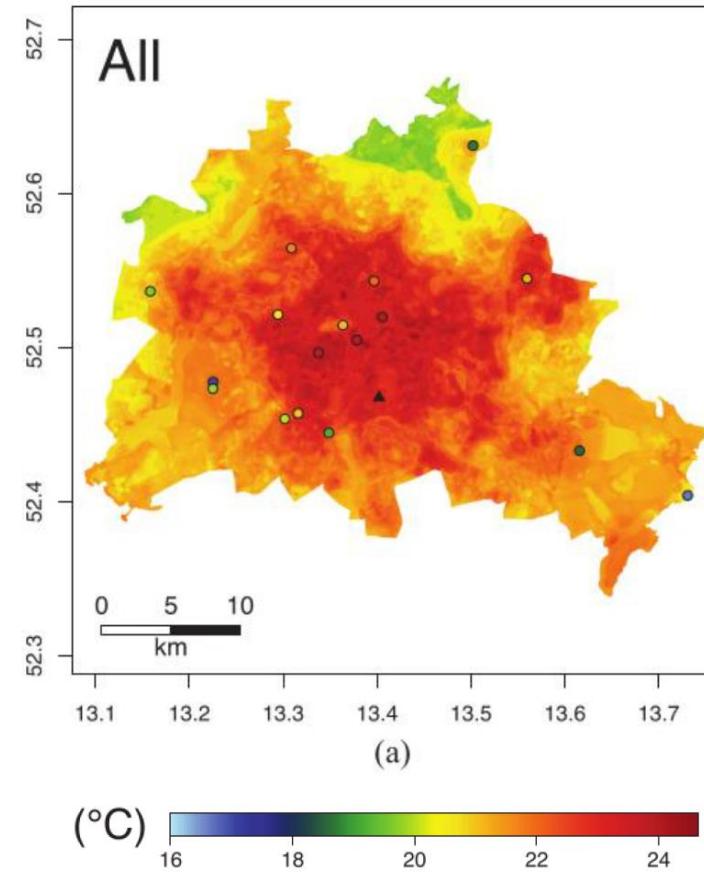
WEATHER
Thanks to Netatmo, Yr, the Norwegian Weather public service, can give more accurate forecasts for 5 countries!
19 MARCH 2018



Nipen, T. N. et al (2020). Adopting Citizen Observations in Operational Weather Prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(1), E43–E57.

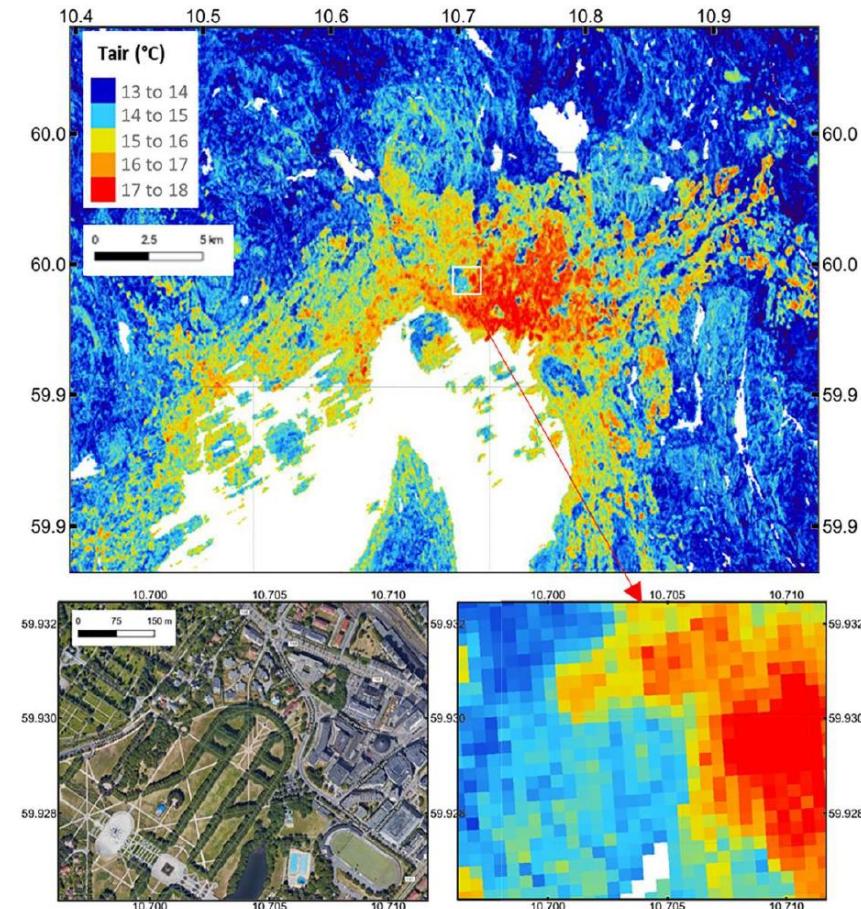
Синтез данных (data fusion)

Berlin, Germany
24 July 2018, night-time



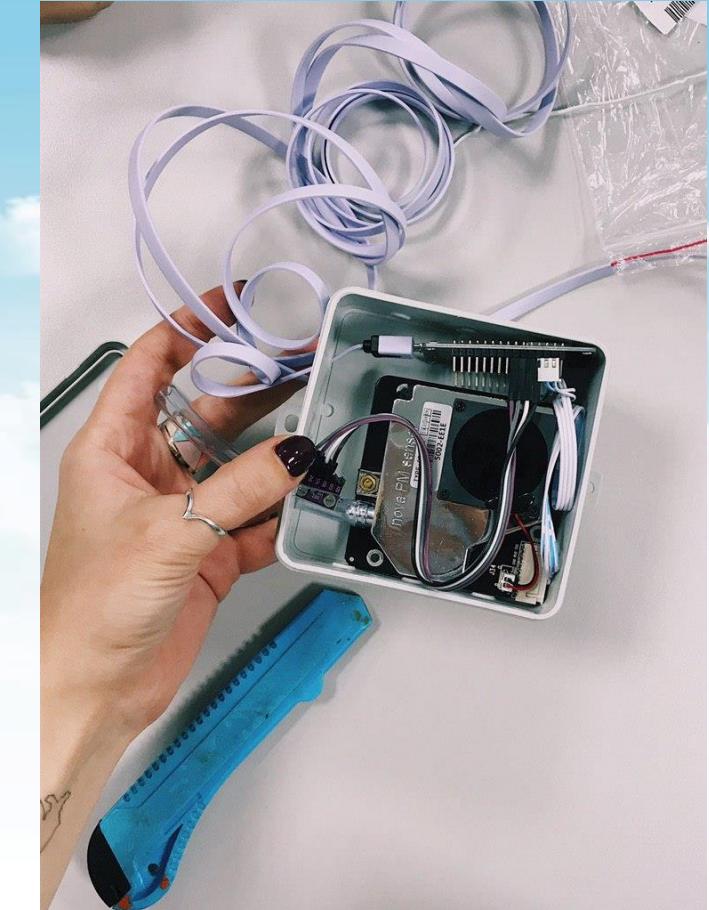
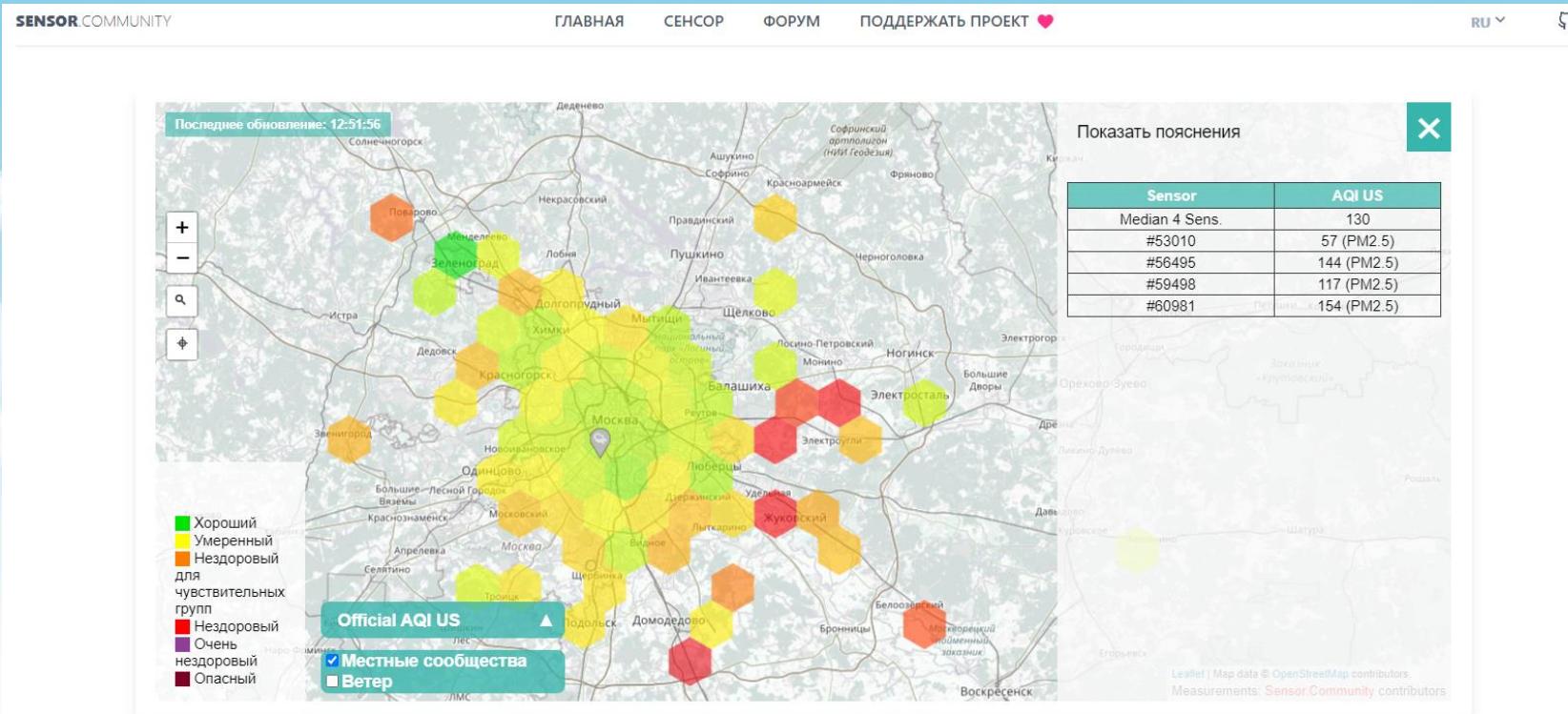
Vulova et al. (2020)

Oslo, Norway
1 June 2018, T_{\min}



Venter et al. (2020)

Народный мониторинг качества воздуха

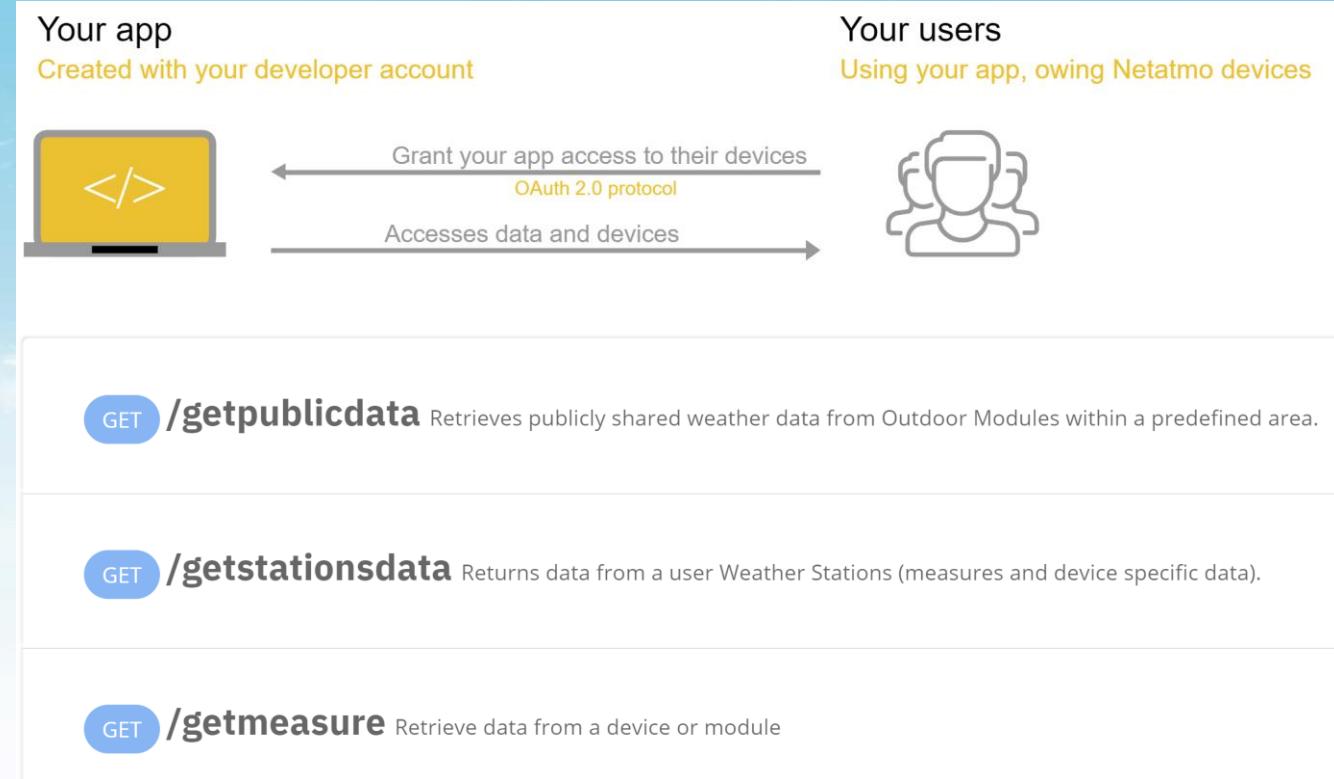


Sensor.Community это всемирная сеть сенсоров
информация с которых доступна в виде открытых данных
об окружающей среде.

Breathe.Moscow & Sensor.Community

Доступ к данным

- Многие сервисы предоставляют доступ через API (*application programming interface*)
- Альтернативный вариант – парсинг данных в веб-сайтов



Веб-приложение для Москвы и Питера

Выбор даты, времени, периода осреднения

Выбор отображаемого параметра

Настройки отображения и преобразования

Параметры
Управление отображением
Дата и время
Дата 2022-08-27
Период осреднения
Исходные данные (3 ч.)
Обеспеченность
00 03 06 09
12 15 18 21
Срок: 2022-08-27 03:00
Показатель
Температура, [°C]
Слоник, Дождь, Солнце
Облачно, Снег, Ветер
P, U, T
Слои отображения
• Относительно фона
Росгидромет
Netatmo
Уровень фильтрации L4

Погода и климат Московского мегаполиса

ДОБАВИТЬ НА ГРАФИК

Сеть Росгидромет
Название Пушкино
Идентификатор 27420
Дата 2022-08-27
Время 3 ч.
Температура 14.4 °C
Влажность 85 %
Давление 1023.2 гПа
Облачность —
Ветер 0 м/с
Осадки 0 мм
Комфортность PET 13.8 °C
Комфортность MRT 14.3 °C
Комфортность UTCI 15.8 °C

Каталог метеособытий

Сводка по выбранной станции

Модуль графического анализа

Анализ и графики
Масштабирование
Ряды данных
Москва (центр, Балчуг) X
Фон X

Температура, [°C]

Метеособытия... Выберите событие
Поиск
Развитие конвективной системы над городом Mon Jul 25 2022 21:00:00 GMT+0300 (Москва, стандартное время)

Городской остров тепла летом Tue Jul 13 2021 03:00:00 GMT+0300 (Москва, стандартное время)

Экстремальная жара в июне 2021 г. Thu Jun 24 2021 15:00:00 GMT+0300 (Москва, стандартное время)

<http://93.180.9.222/uclim/#/>



The end

Вопросы?

ДЗ №2: анализ данных мониторинга

- Исследовать доступность данных станционных наблюдений для выбранного города и его окрестностей (метеостанции, аэропорты, специализированные городские сети, краудсорсинг)
- Выбрать репрезентативные городские и загородные станции
 - Определить точное местоположение рассматриваемых станций
 - Оценить их репрезентативность в контексте влияния прочих факторов (рельеф, водные объекты...)
 - Если таких станций нет → выбрать другой город
- Скачать данные за несколько лет
- Построить графики временной динамики основных метеовеличин (температуры, влажности, скорости ветра) ветра на городских и загородных станциях за месяцы с контрастными метеоусловиями - для лета/зимы, сухого/влажного сезонов
- Проанализировать городские аномалии этих метеовеличин (разности «город-фон»):
 - Построить графики временной динамики за отдельные периоды (\approx 15-30 дней)
 - Построить график осредненного суточного хода
 - Построить график осредненного сезонного хода
- *Рассчитать для города и фон индикаторы heating degree days (HDD) & cooling degree days (CDD)
- *Сравнить характеристики приземного острова тепла (UHI) по данным наблюдений с характеристиками SUHI из глобальных баз данных на основе ДЗ3 (см. слайд #44)