



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Курс «Моделирование климата городов», лекция №2

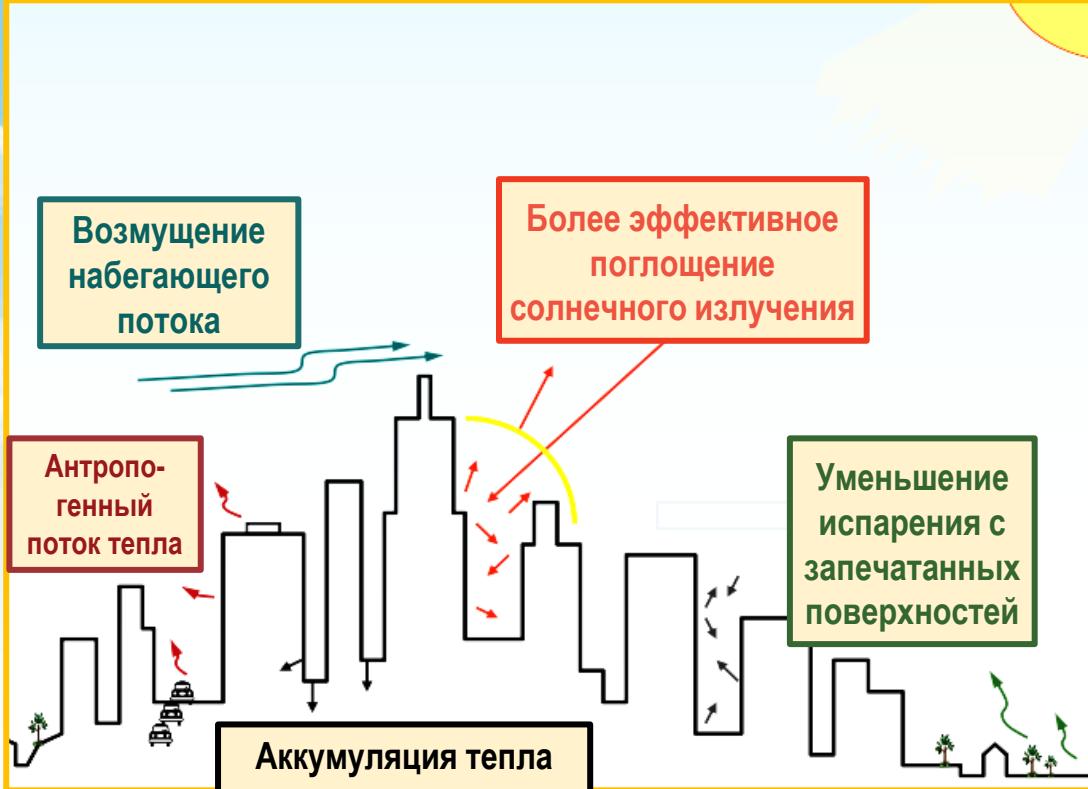
Мониторинг городского климат

Михаил Иванович Варенцов

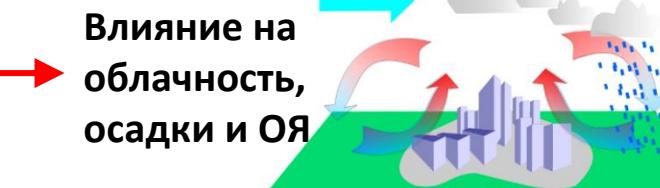
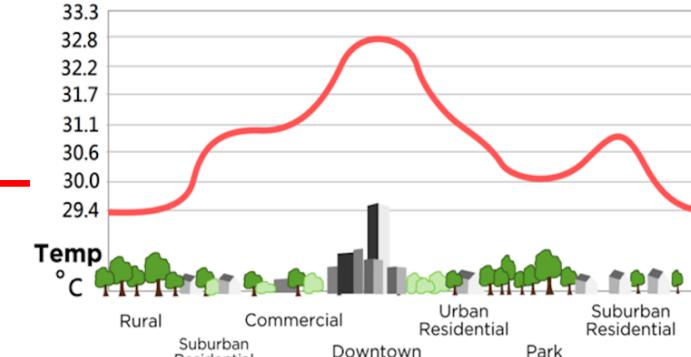
mvarentsov@hse.ru

В предыдущих сериях...

Влияния городов на атмосферу



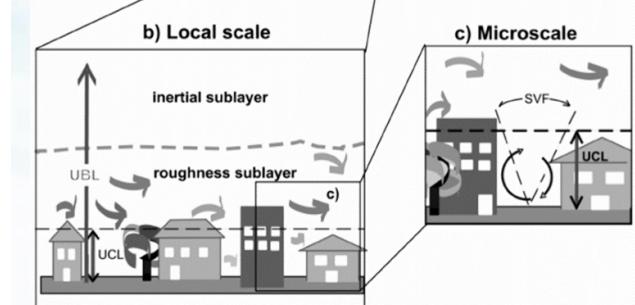
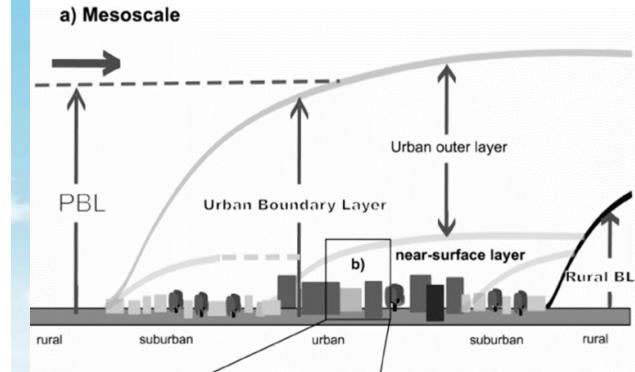
Почему это актуально?



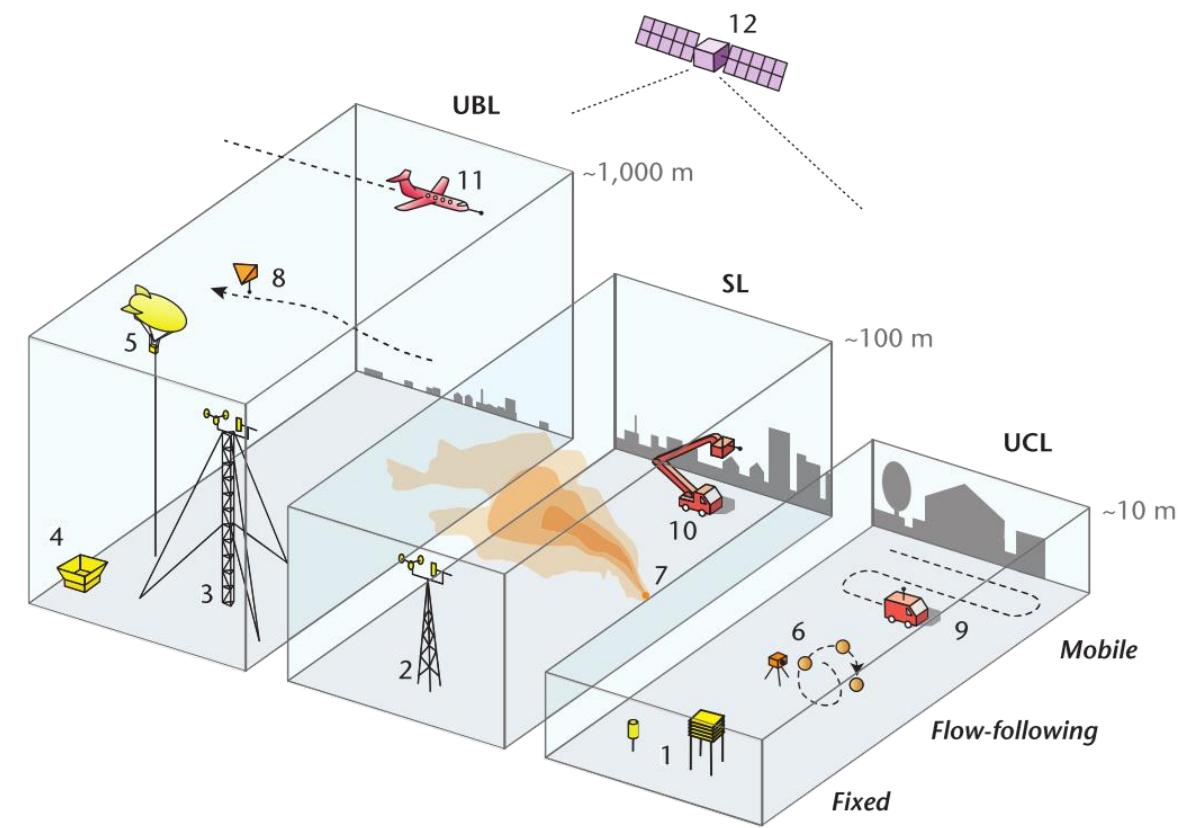
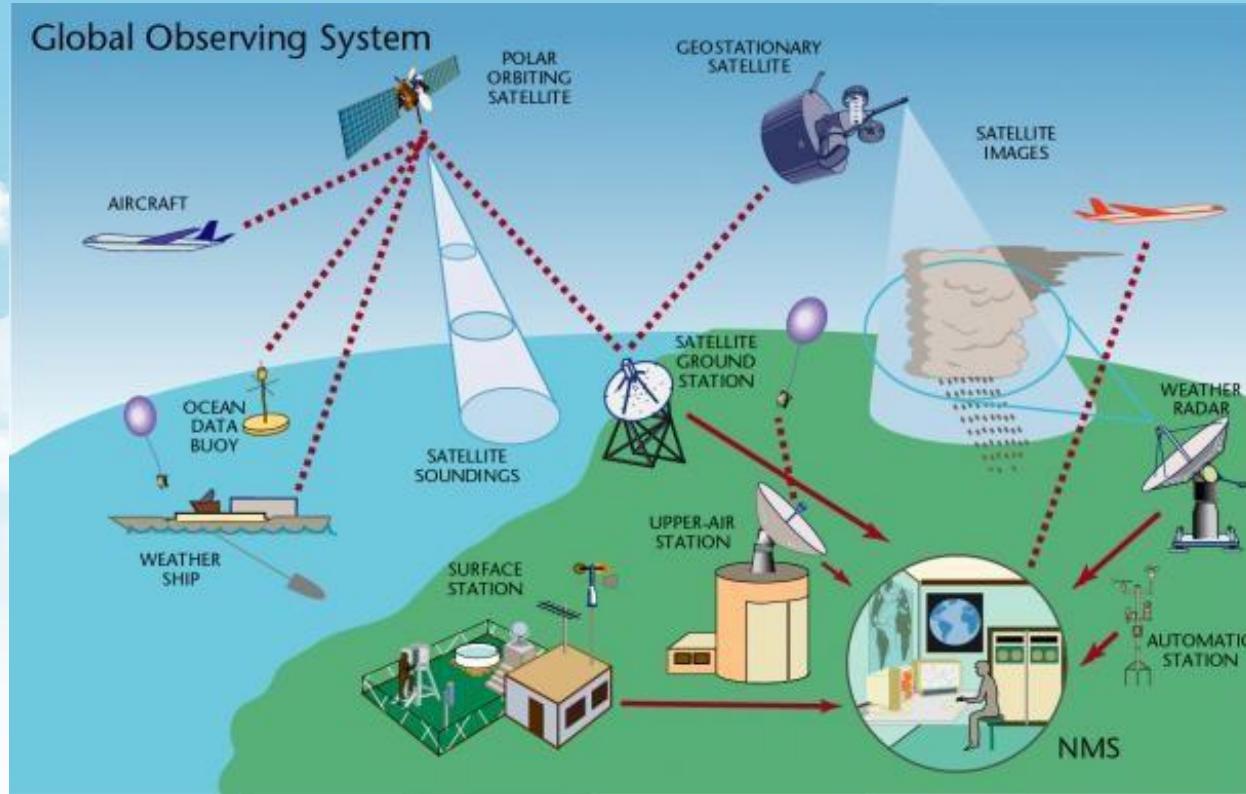
Влияние на облачность, осадки и ОЯ
Влияние на термический комфорт
...



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)

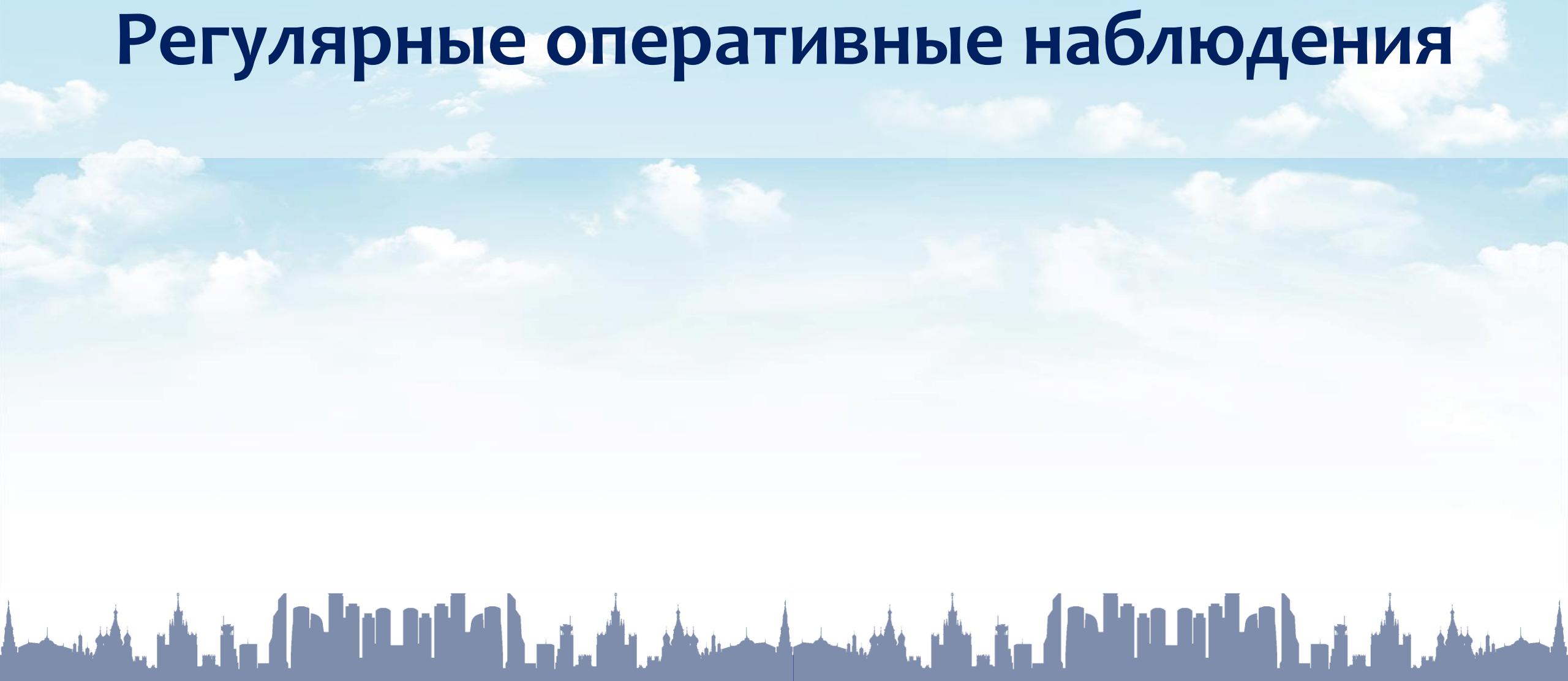
- Длительный мониторинг
- Краткосрочные измерительные кампании

□ Нетрадиционные виды наблюдений

- Краудсорсинг
- Любительские метеостанции
- IoT-девайсы

□ Дистанционное зондирование Земли

Регулярные оперативные наблюдения



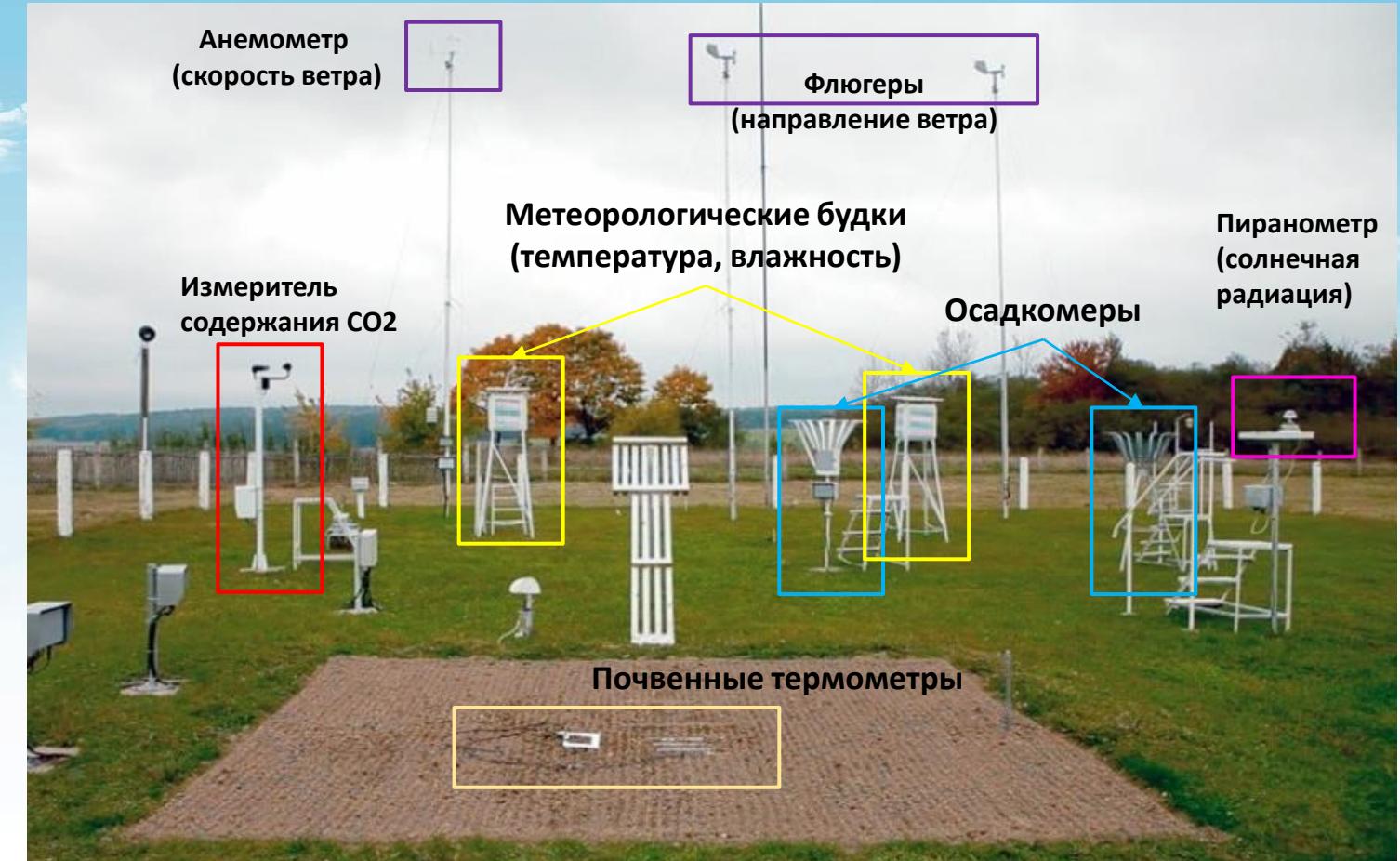
Наземные метеостанции

Сроки наблюдений:

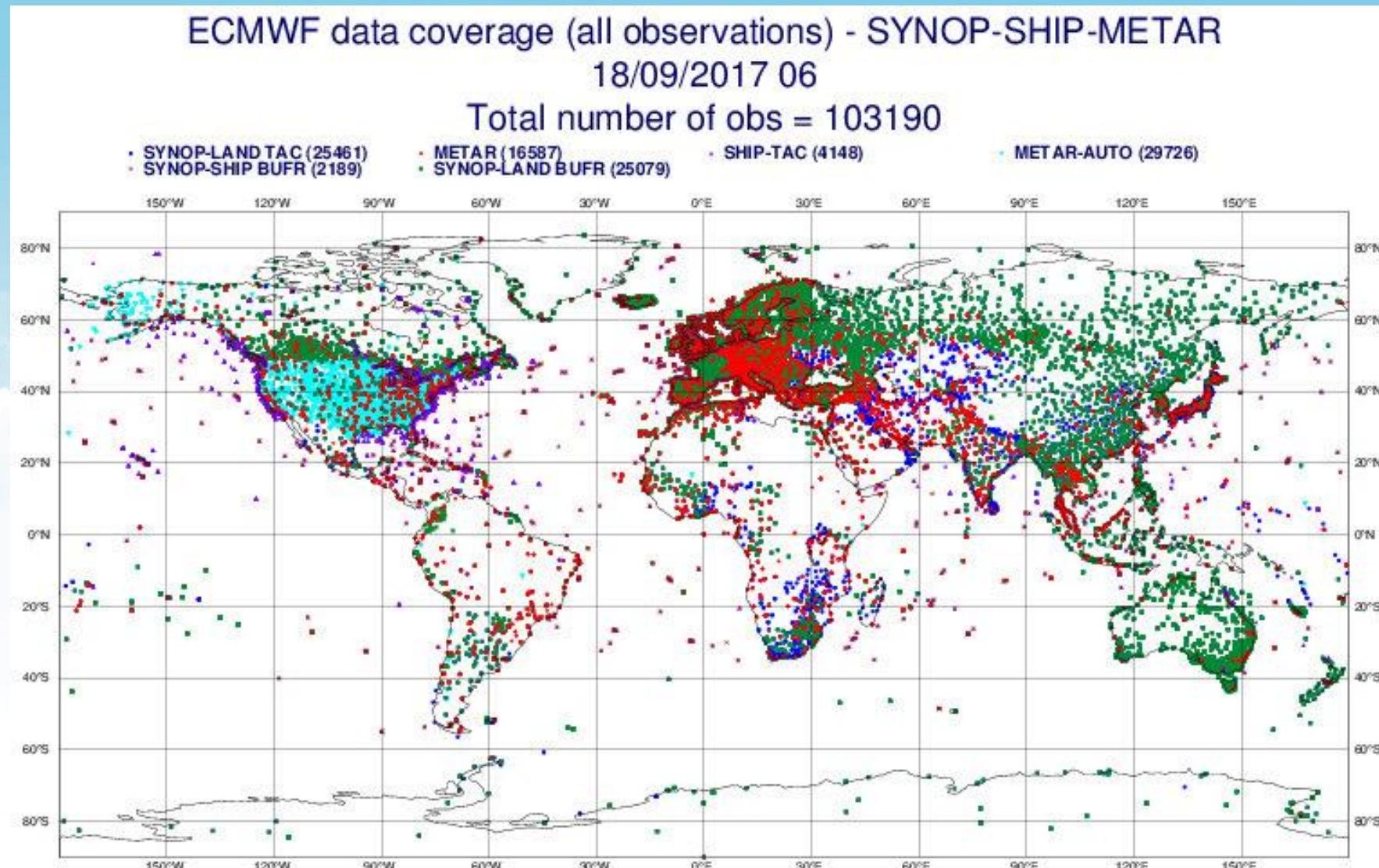
00,03,06,09,12,15,18,21 по всемирному
координированному времени

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
ГИДРОМЕТОИЗДАТ
1985

2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛОЩАДКА

2.1. Общие указания

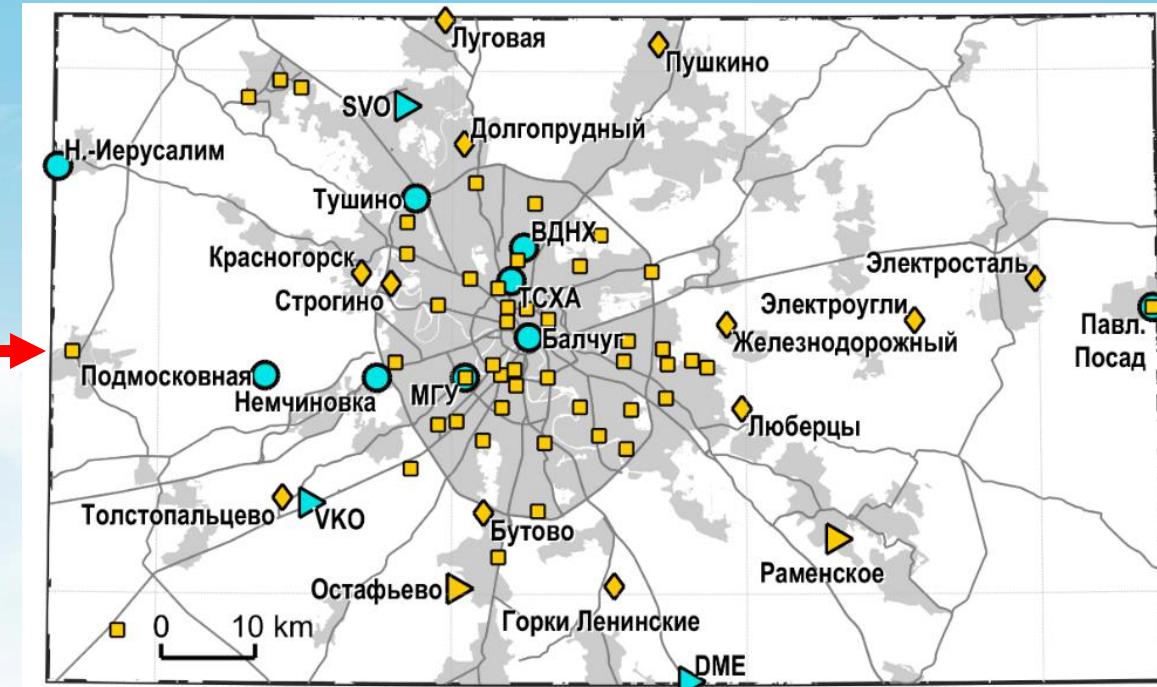
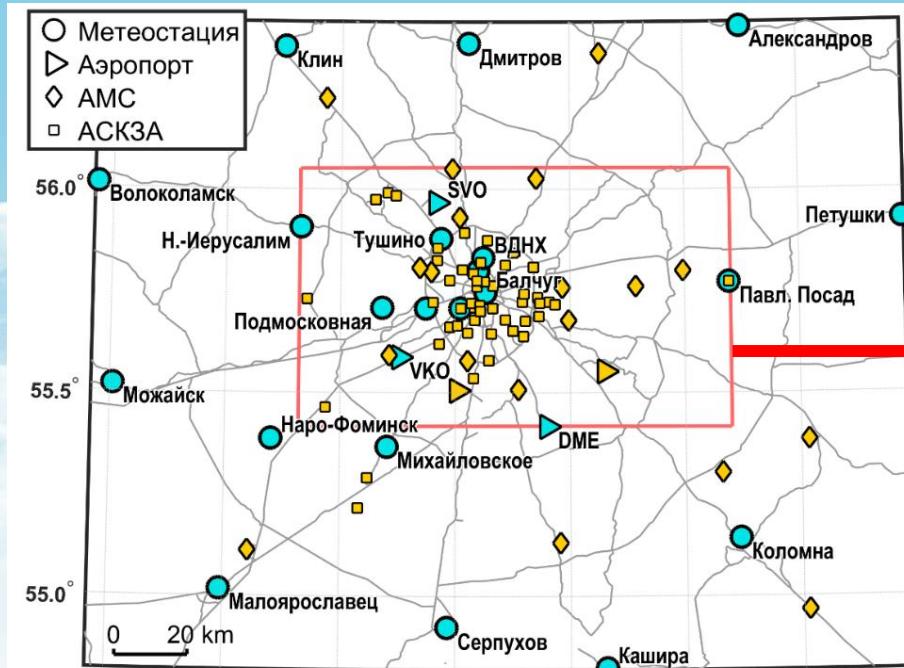
2.1.1. Метеорологическая площадка служит для установки приборов и оборудования, необходимых при производстве метеорологических наблюдений в приземном слое атмосферы.

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

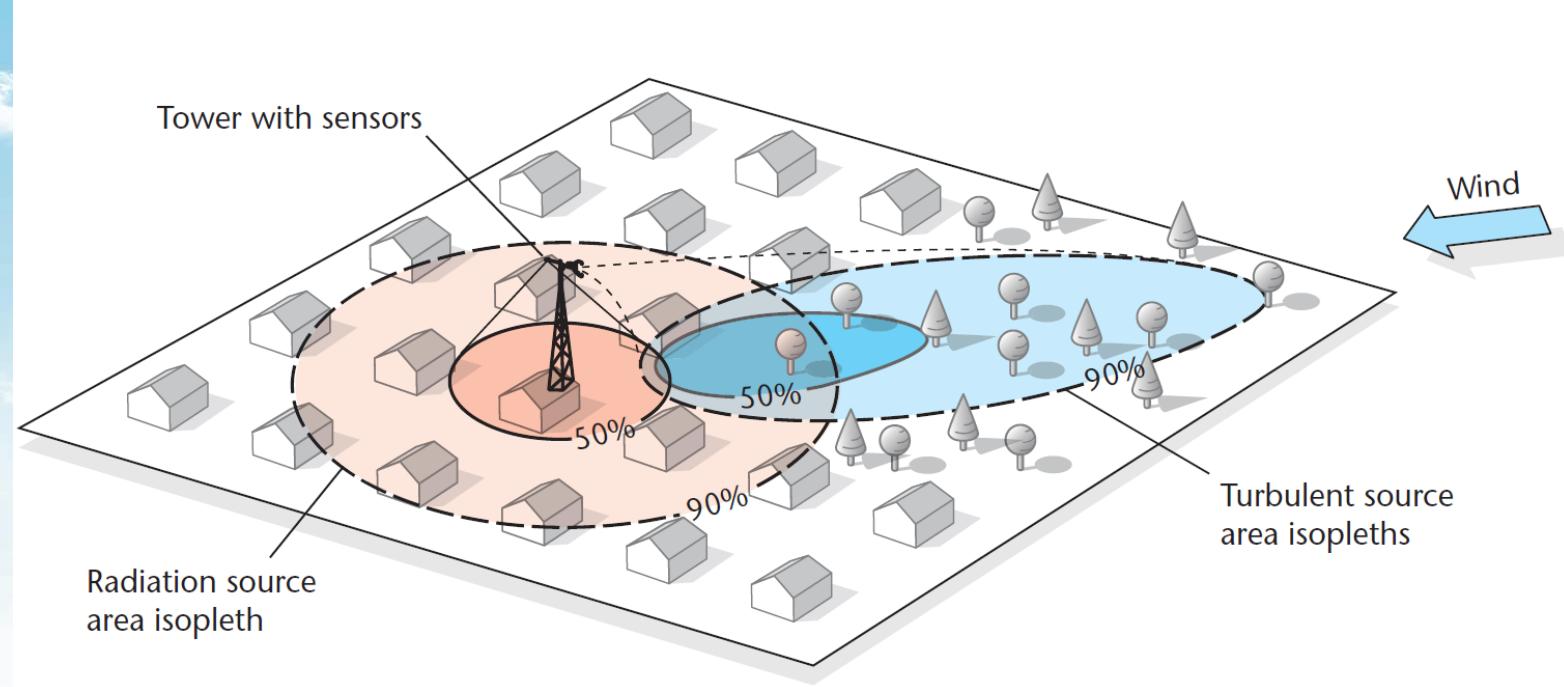
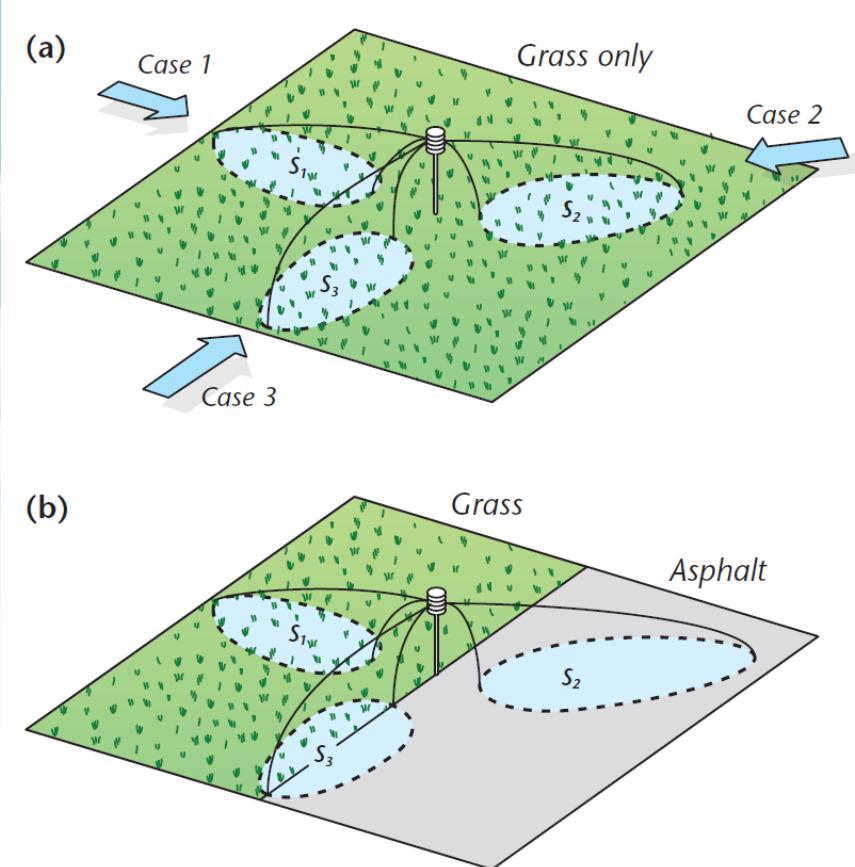


АМС ФГБУ «Центральное УГМС»



АСКЗА ГПБУ «Москомониторинг»

Нюансы работы с данными наблюдений в городах

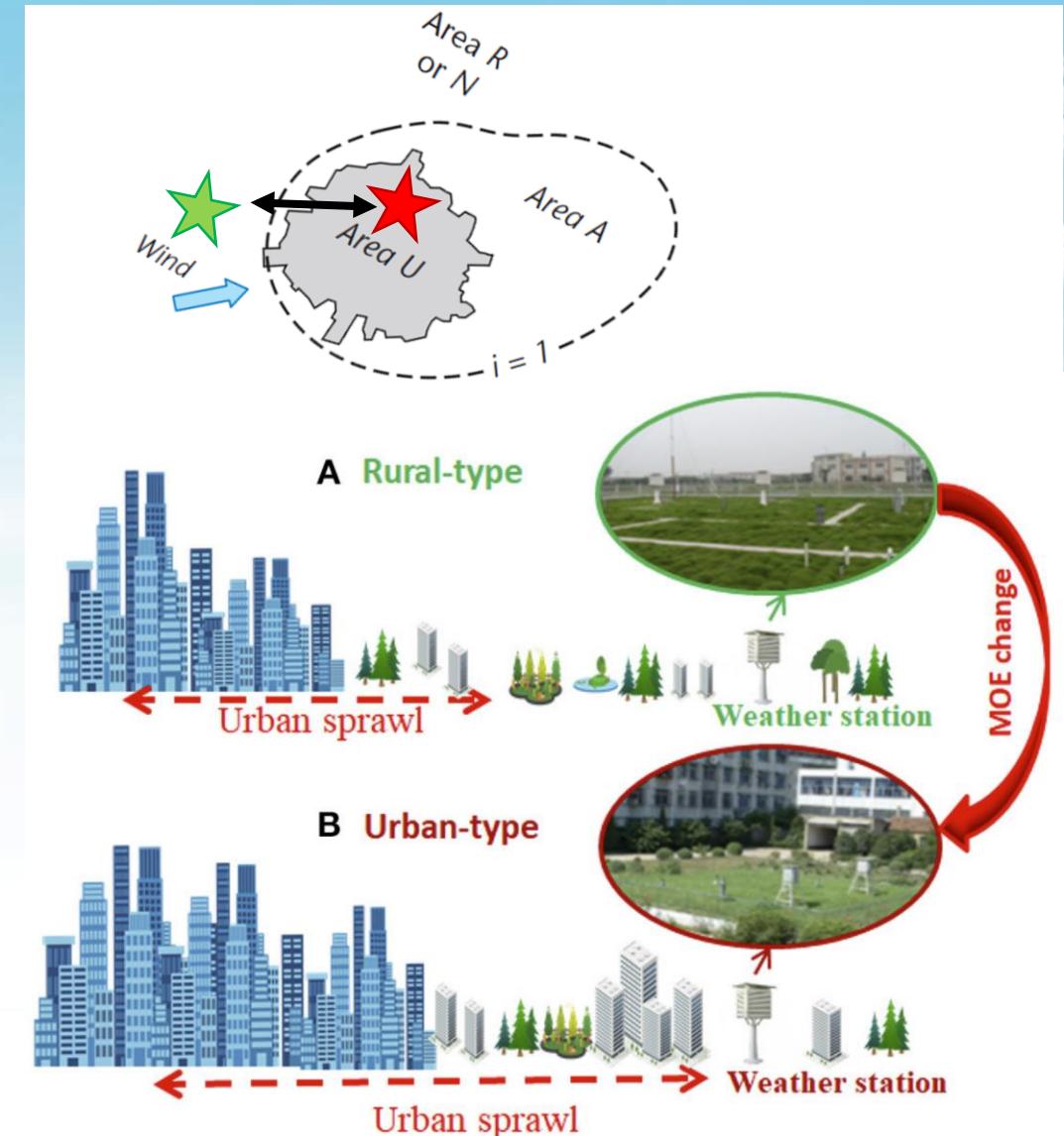


**При интерпретации наблюдений в городах особенно важно
точно знать местоположение станции!**

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



Где брать данные метеостанций?

Официальные источники данных (Россия):

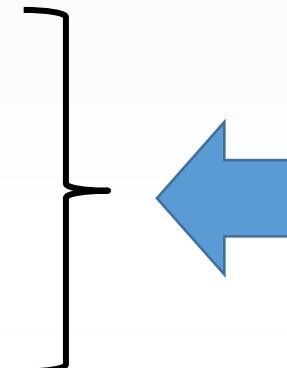
- Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации– Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД), <http://meteo.ru/data>
Срочные метеоданные тут: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/>)
- Территориальные подразделения Росгидромета (УГМСы), по запросу

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/>

Неофициальные источники официальных данных:

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



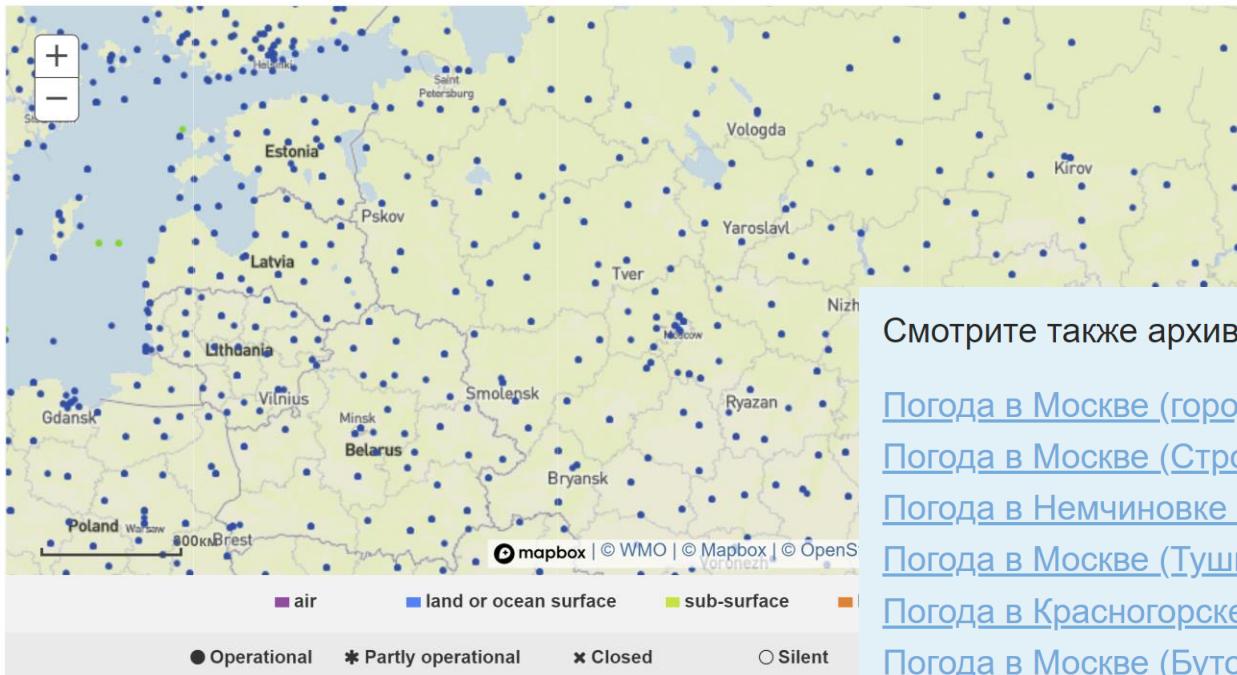
Протоколы обмена данными
SYNOP, METAR, BURF

*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)

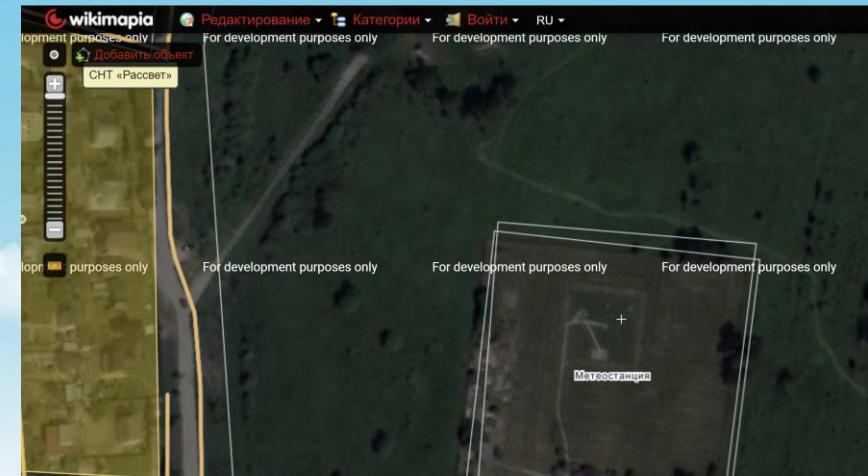
[Погода в Железнодорожном АМС \(Московская область, Россия\)](#) (21 км)

[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> (нужна регистрация)
 - Статьи и прочие публикации



МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды



Выберите принадлежность подразделений к наблюдательной сети

- Подразделения Росгидромета
 - Ведомственные подразделения

Выберите вид подразделений:

Открытые подразделения

Выберите УГМС:

42 - ФГБУ "ЦЕНТРАЛЬНОЕ УГМС"

Выберите тип подразделения:

16 - МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

- Полный список подразделений по УГМС
 - Правила по приему пациентов в поликлинику

Список подразделений

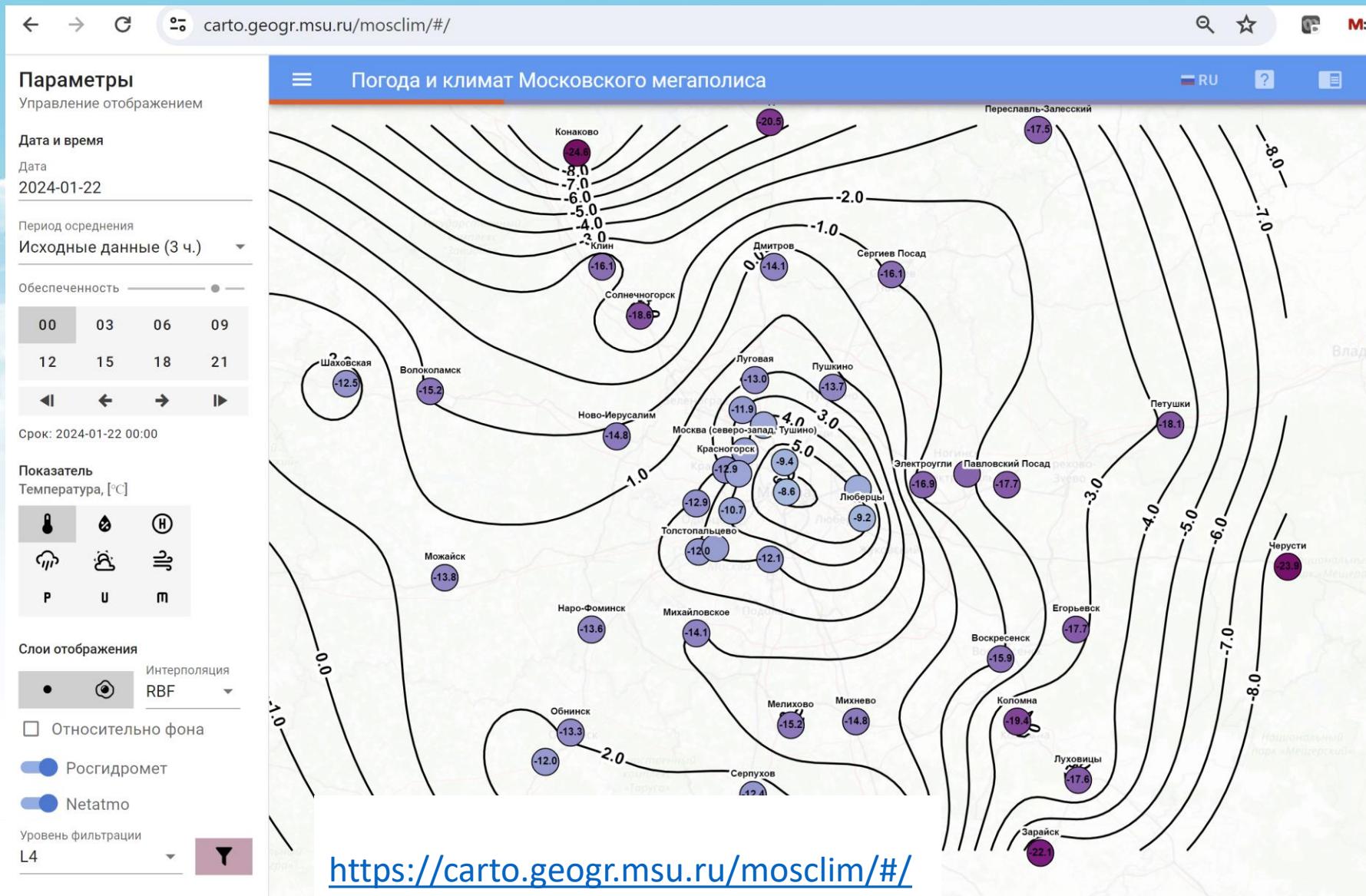
Дата открытия подразделения: 19-12-2011

- 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 Y1=0 ; ВМО Y2=0 ; труднодоступные
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ
Категории наблюдательных сетей Росгидромета и статус

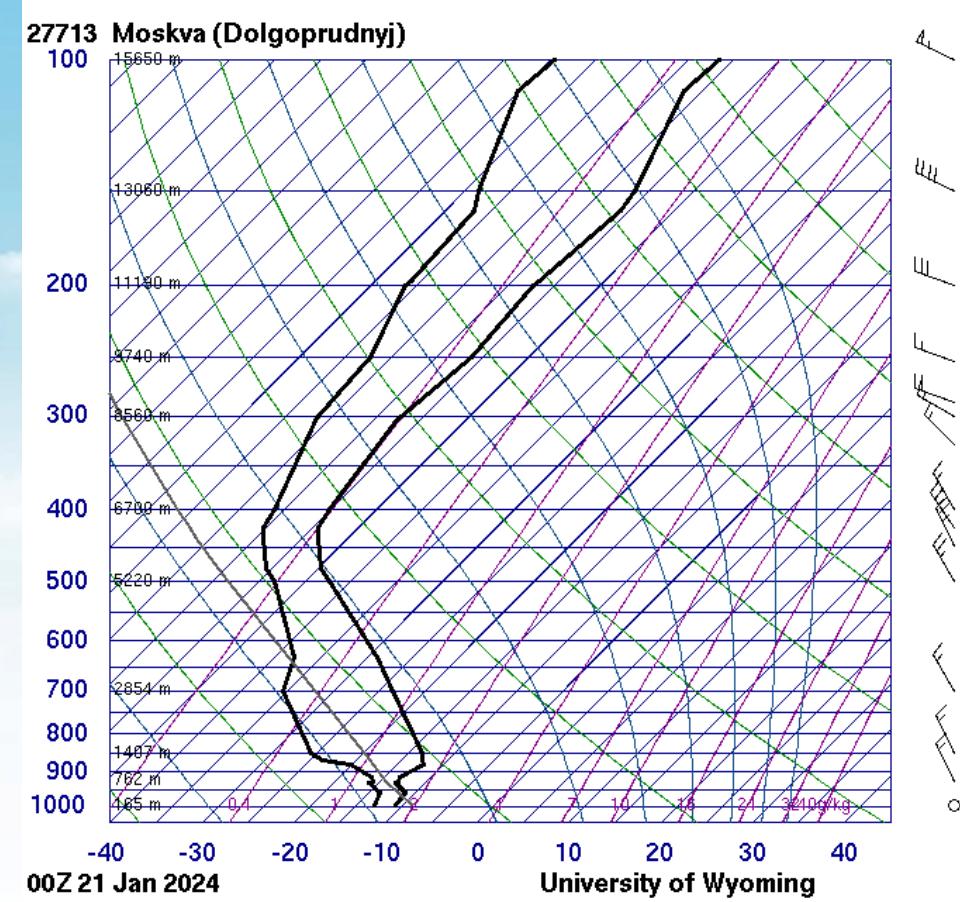
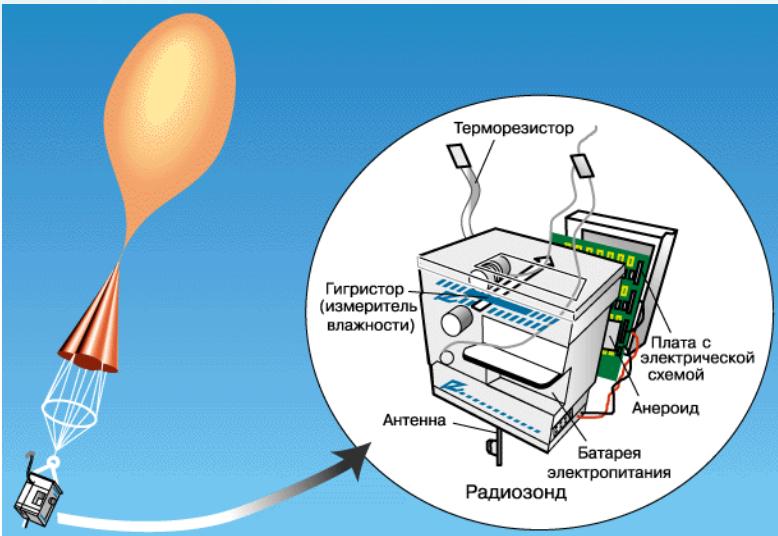
Категория НП в целом 3-основная						
Сети	Оsn.-3	Доп. -4	Реп. -2	Некласс.-1	Не принадлеж.-0	Неизвестно
Климатическая/метеорологическая	X					
Агрометеорологическая					X	
Гидрологическая					X	
Морская					X	

Веб-приложение для Москвы



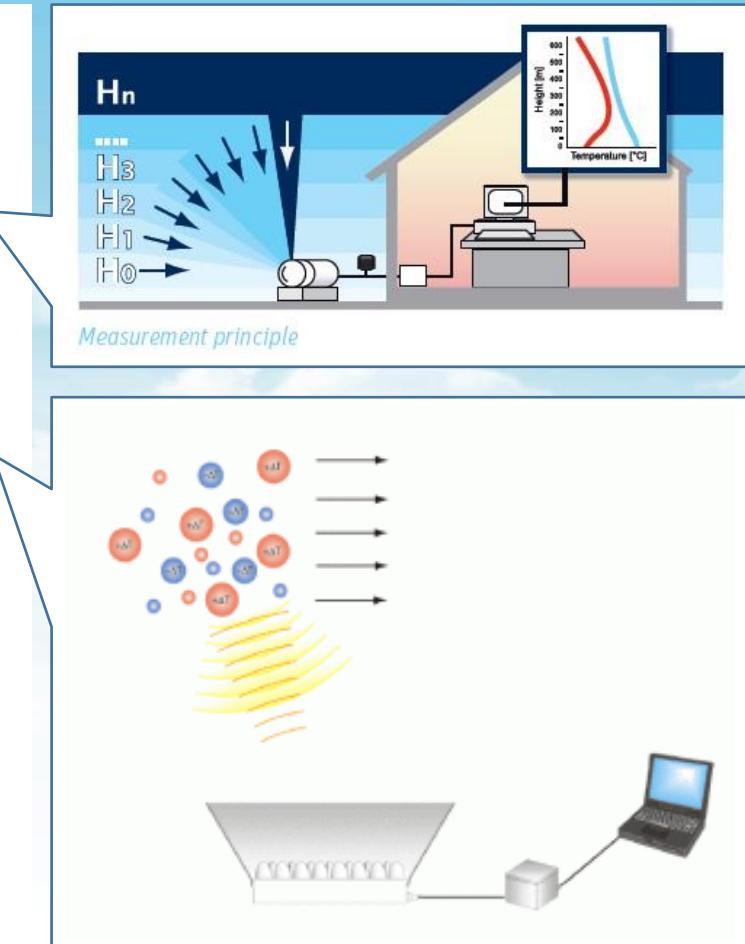
Радиозондирование

- 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>



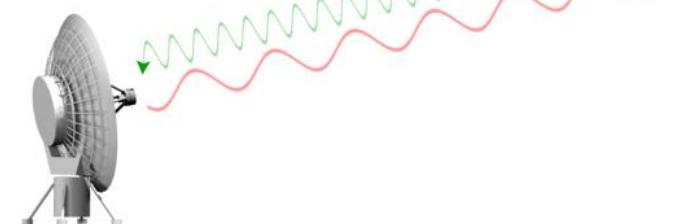
Дистанционные наземные измерения

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.



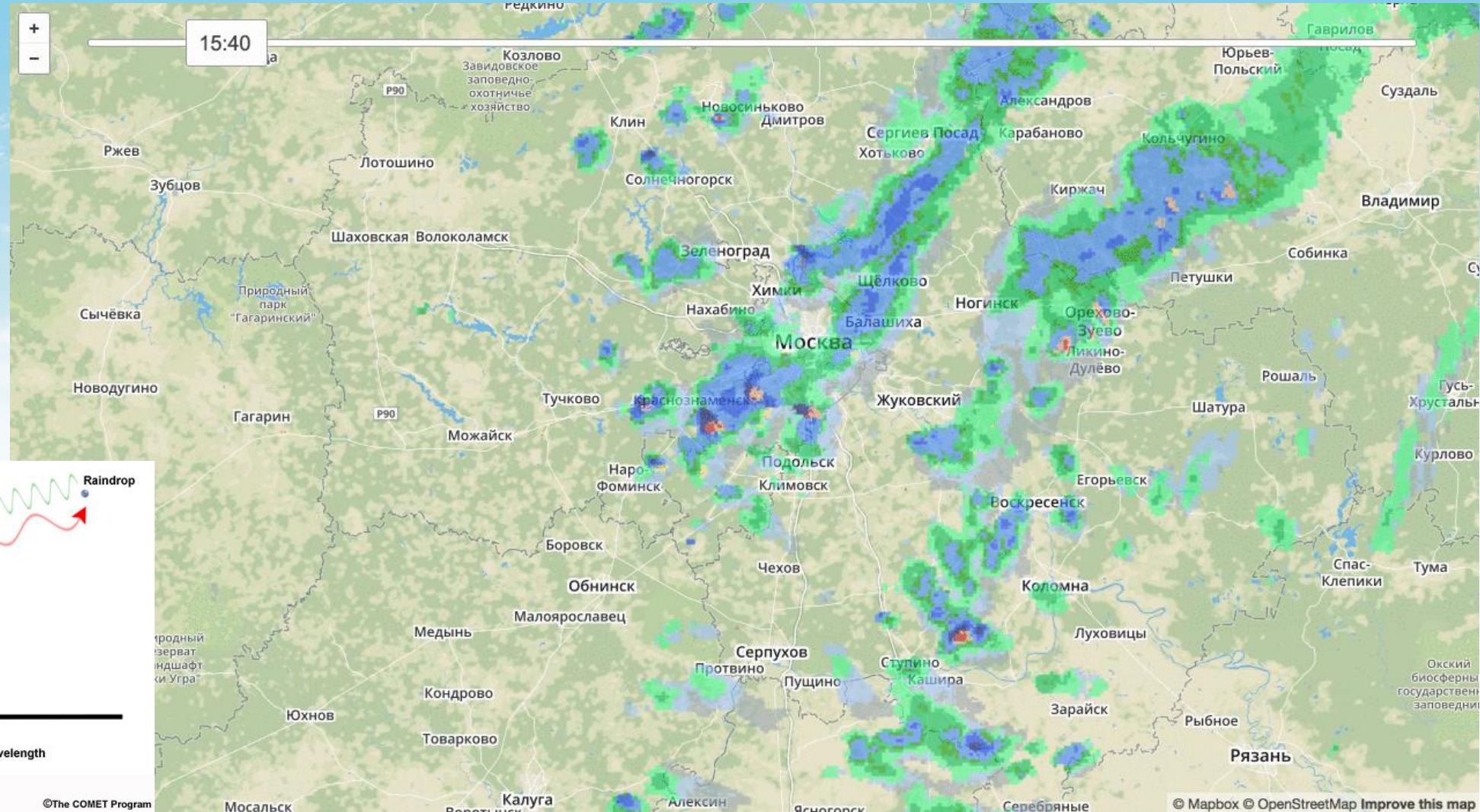
Метеорологические радиолокаторы

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

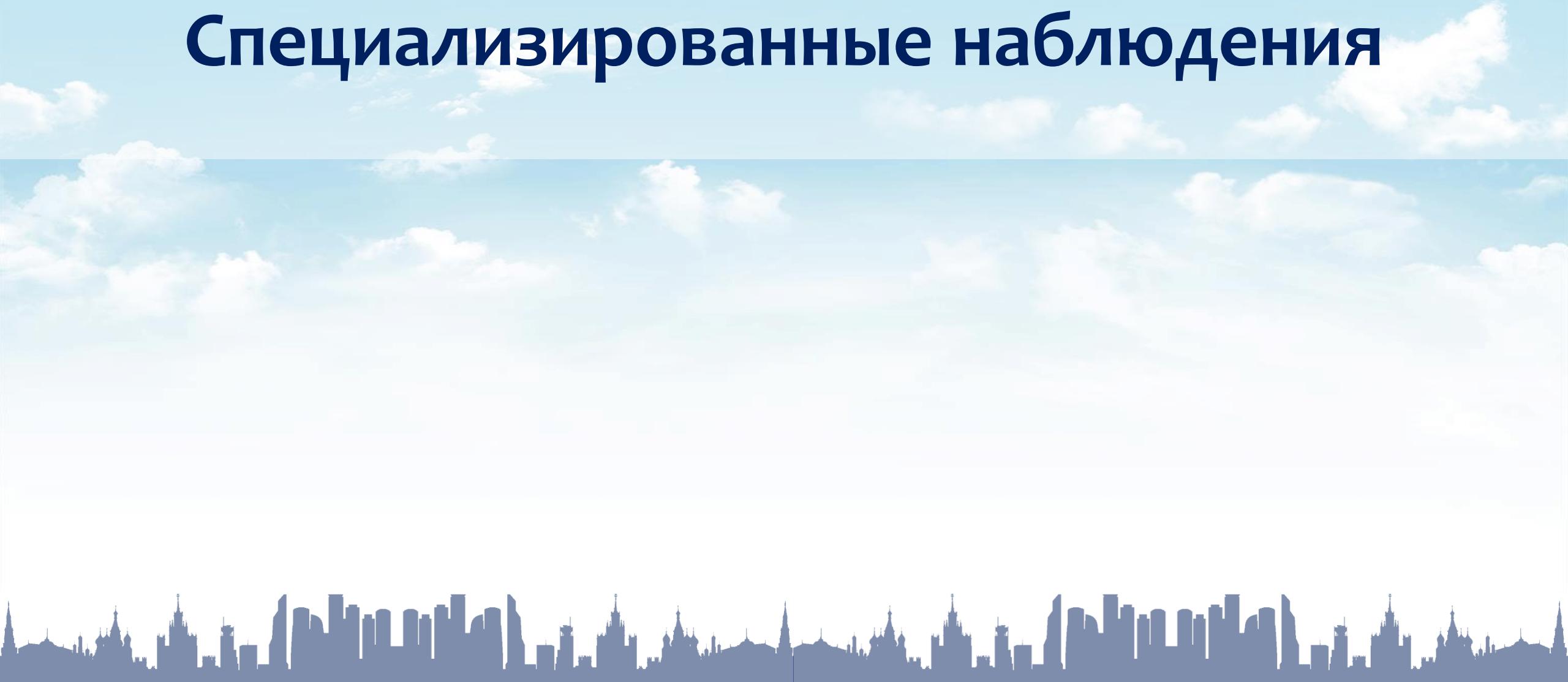


Outgoing wavelength

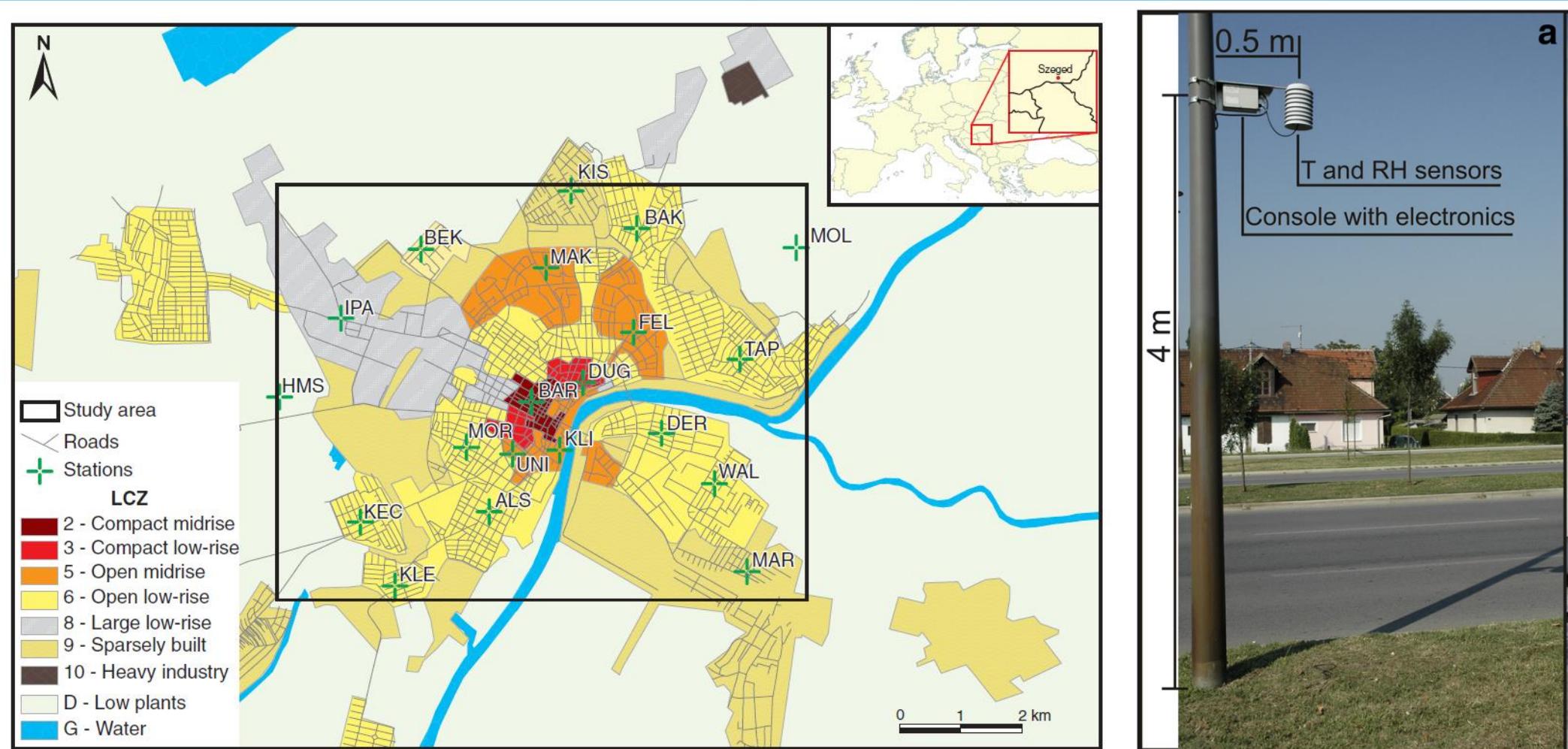
Returning wavelength



Специализированные наблюдения

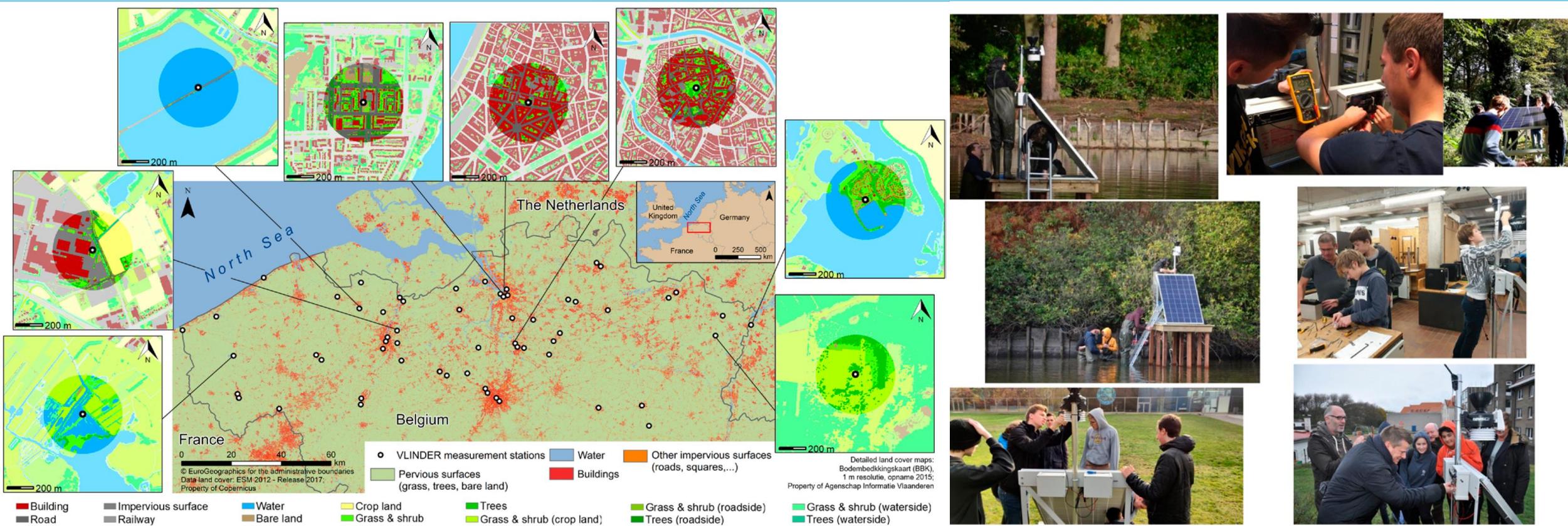


Городские метеорологические сети



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



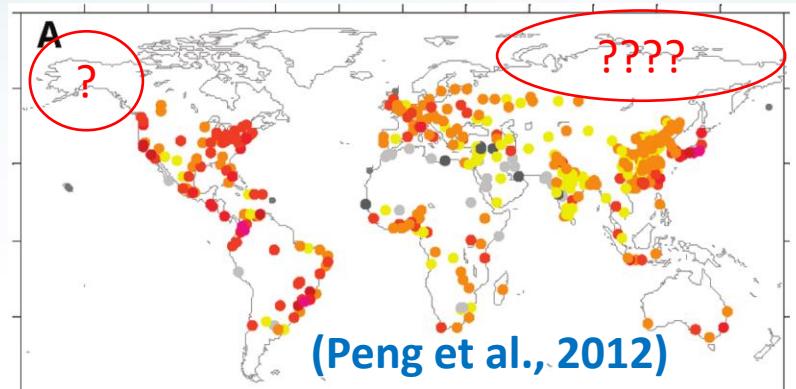
Сеть школьных метеостанций VLINDER (<https://vlinder.ugent.be/dashboard/>)

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

Пример сети UHIARC

Urban Heat Island Arctic Research Campaign

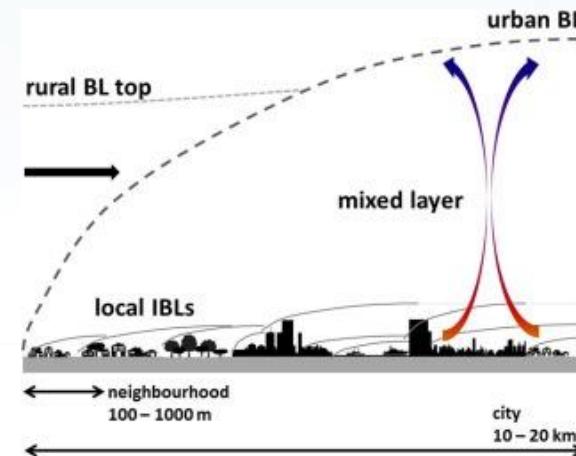
1. Географический аспект



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

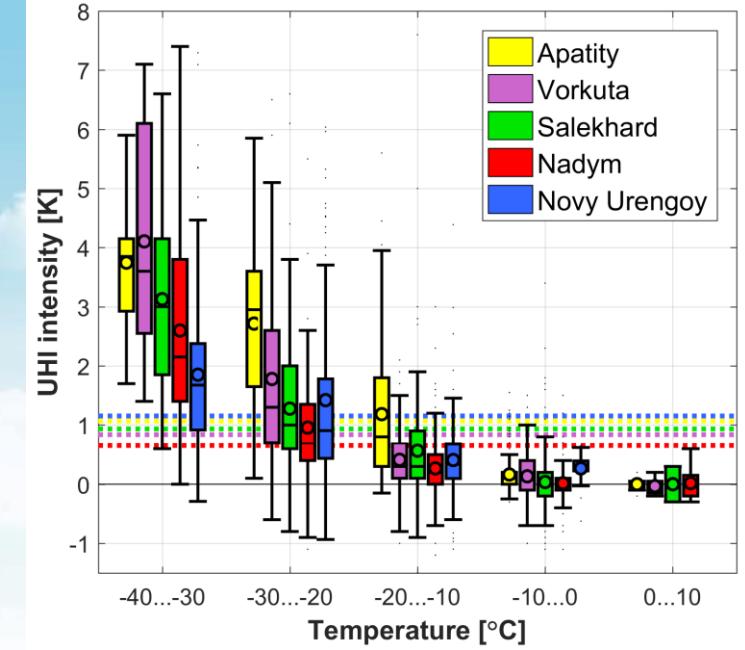
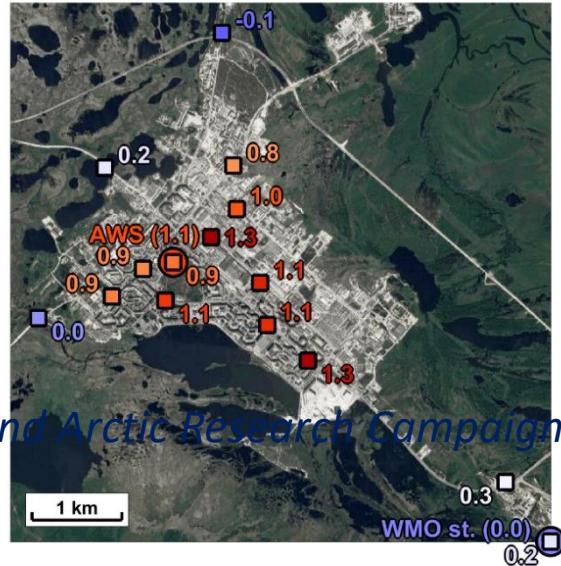
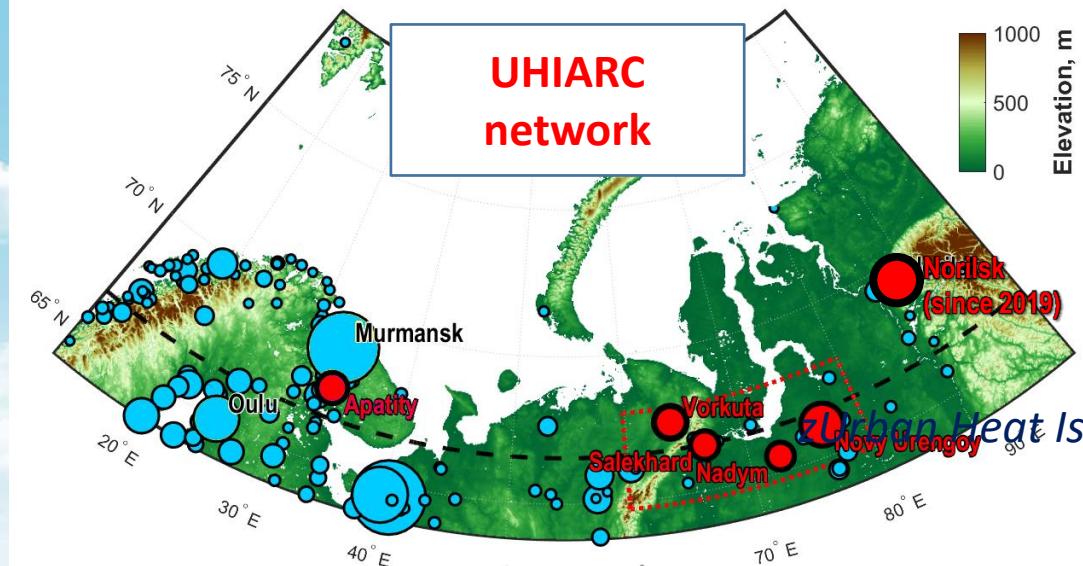


3. Арктические города как модельные объекты



Пример сети UHIARC

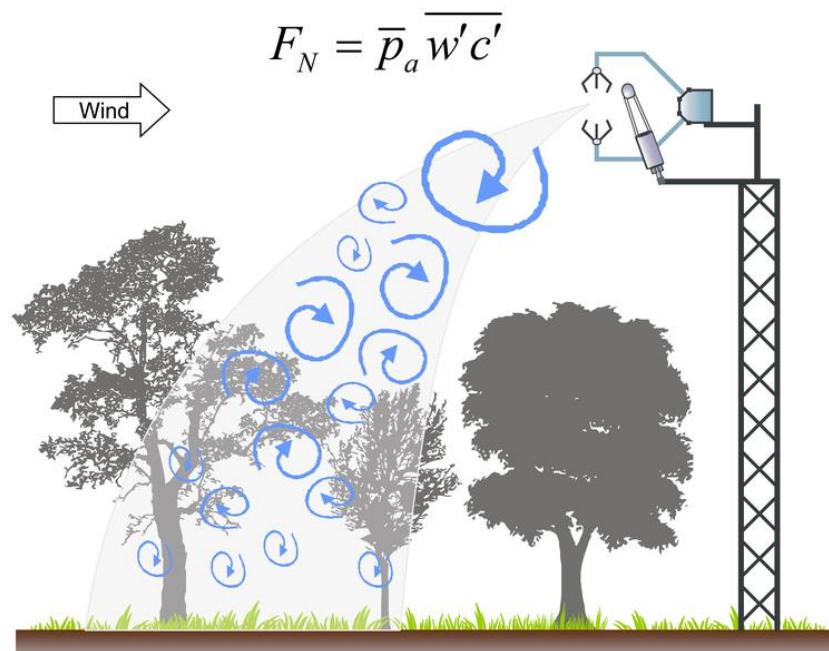
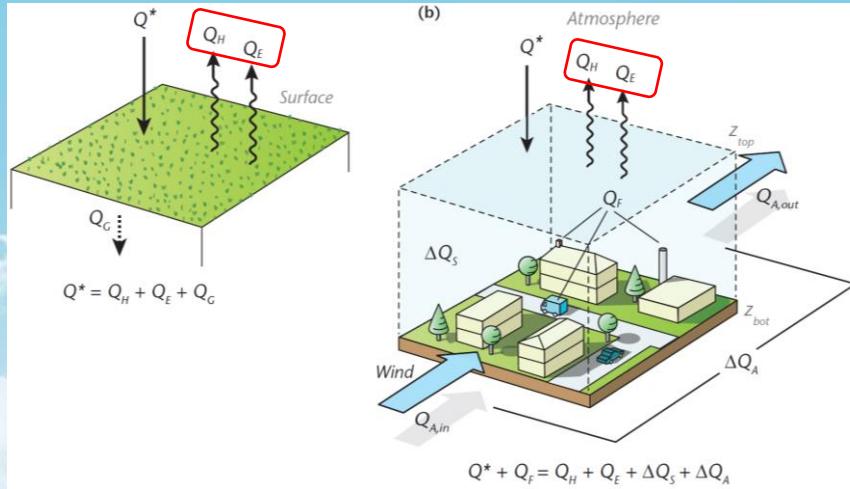
Urban Heat Island Arctic Research Campaign



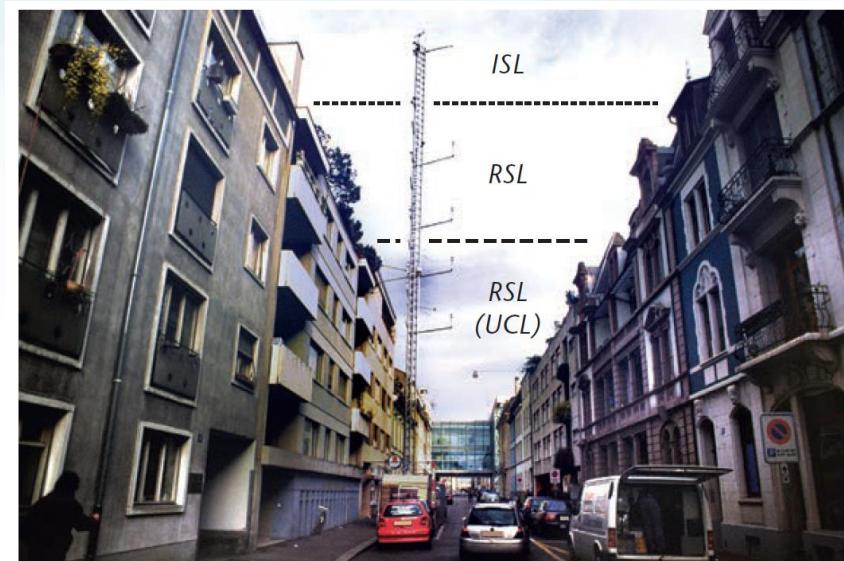
Dependence of the winter UHI intensity
from air temperature

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

Наблюдения за теплообменом

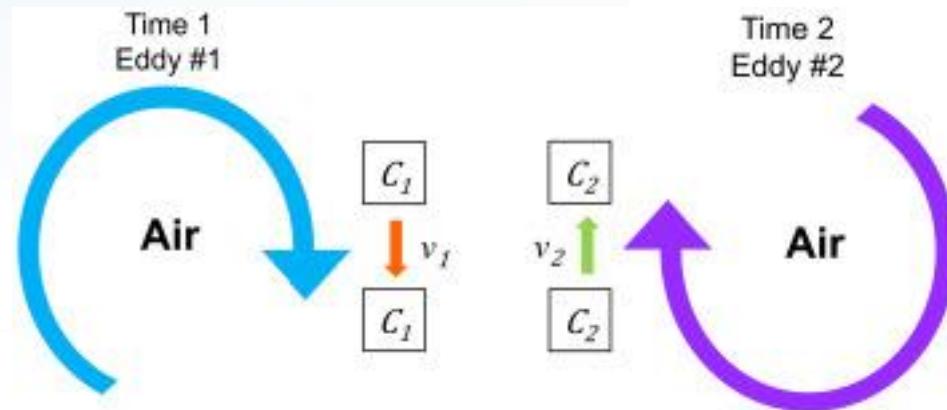
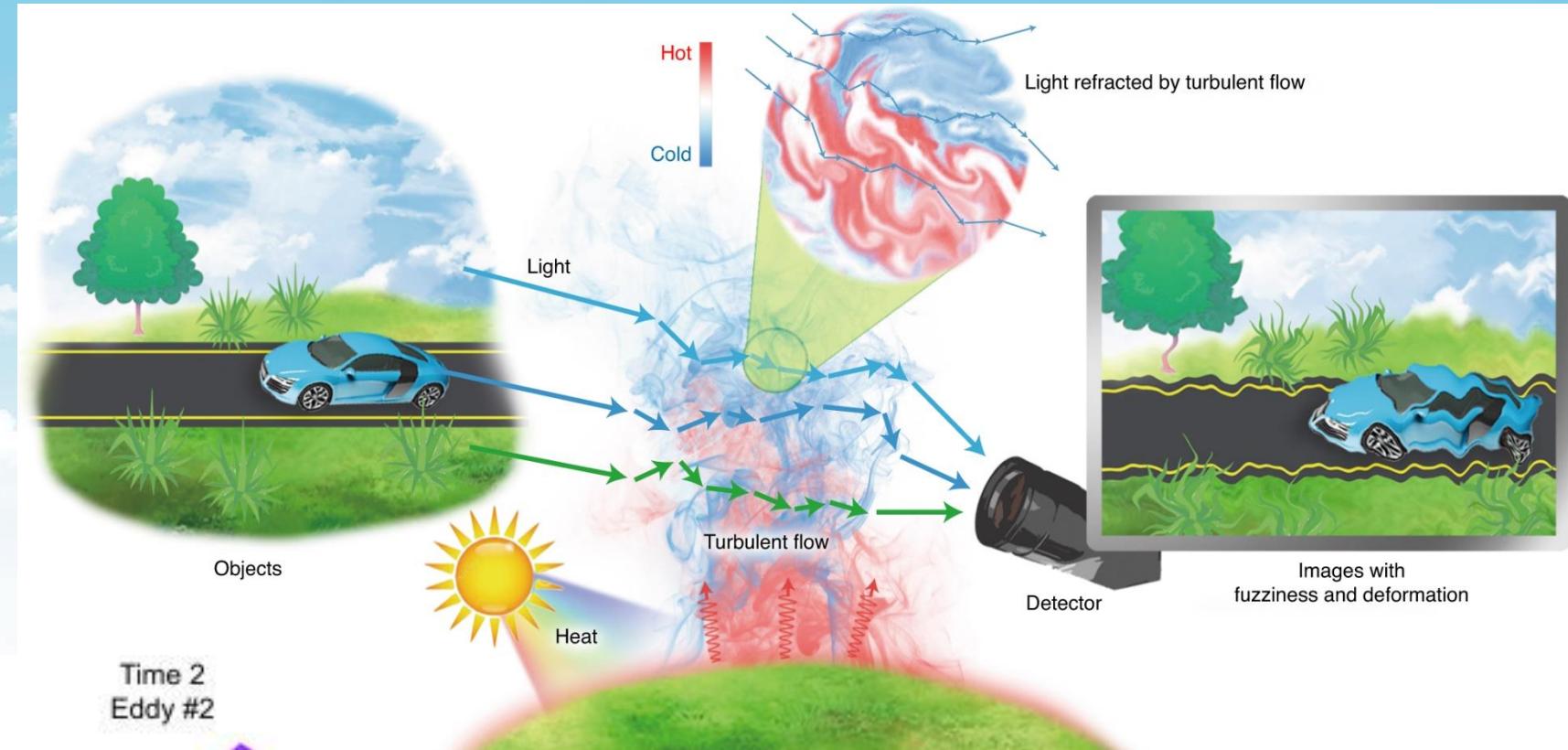
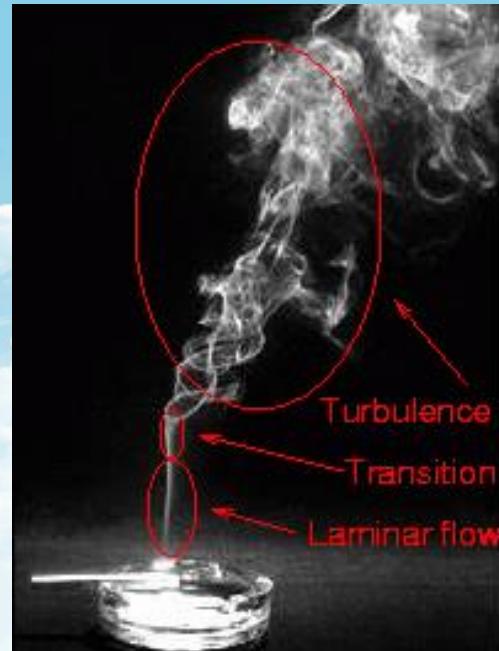


- Микроклимат территории определяется ее тепловым балансом, в который входят турбулентные потоки тепла (Q_h , Q_e).
- Потоки тепла, влаги и импульса – ключевые параметры взаимодействия атмосферы с поверхность, которые нужно описывать в моделях.
- Основным методом измерения турбулентных потоков является 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.

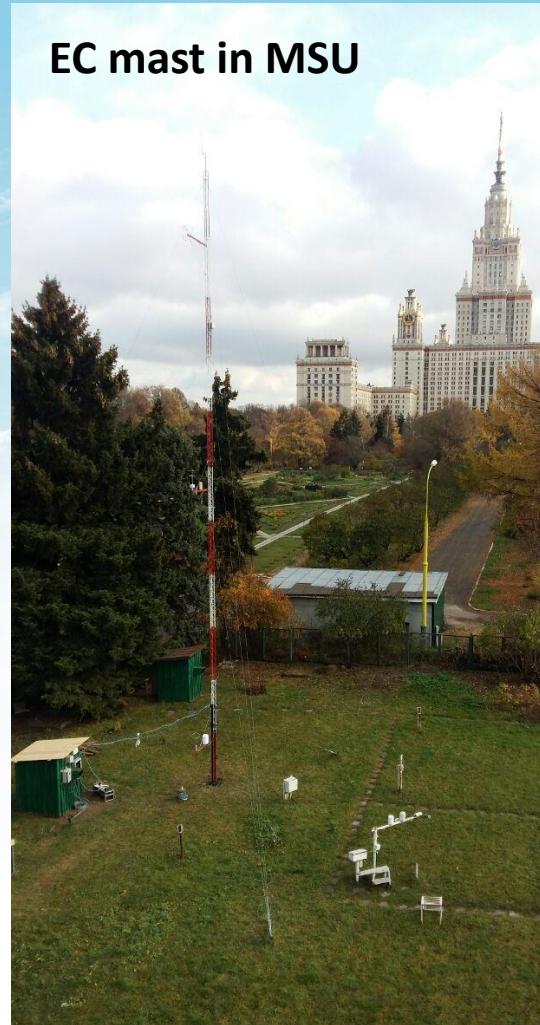


Эксперимент BUBBLE
(Boundary Layer Measurements in Basel, [Rotach et al., 2005](#))

Турбулентный энергообмен



Наблюдения за энергообменом



Наблюдения за энергообменом

MoscowMSU
real-time data

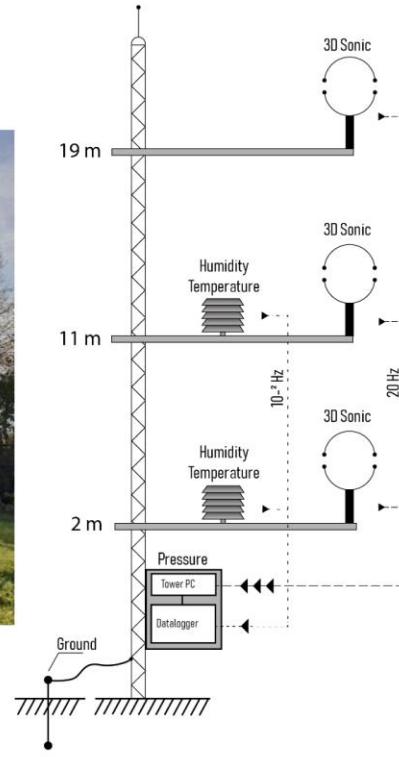
LEVEL 2.0 m
Acoustic anemometer

LEVEL 11.0 m
Acoustic anemometer

LEVEL 18.8 m
Acoustic anemometer

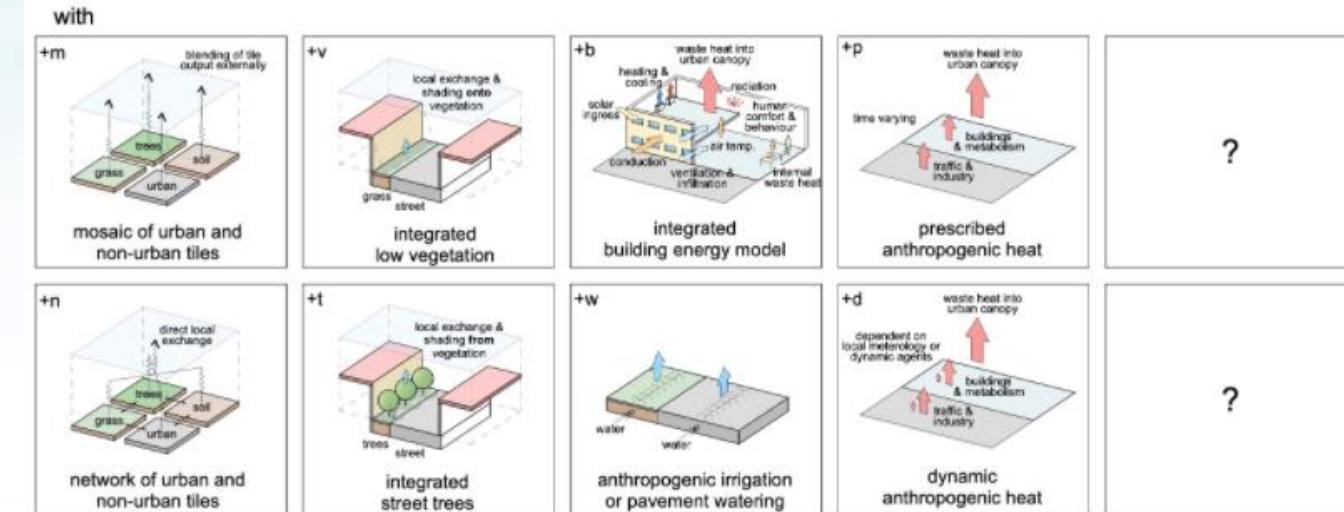
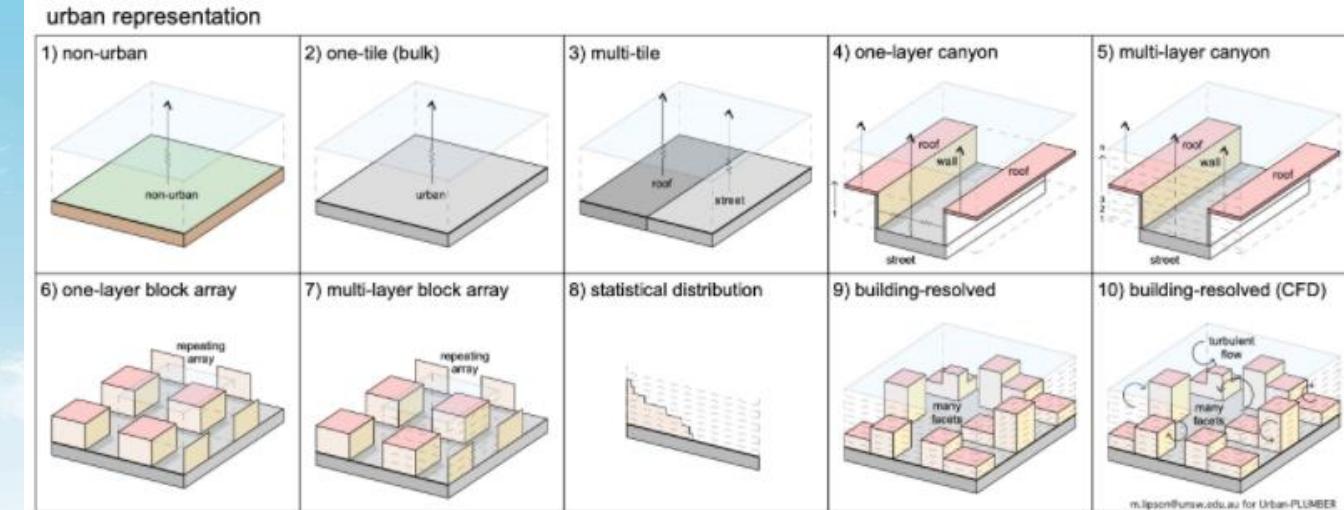
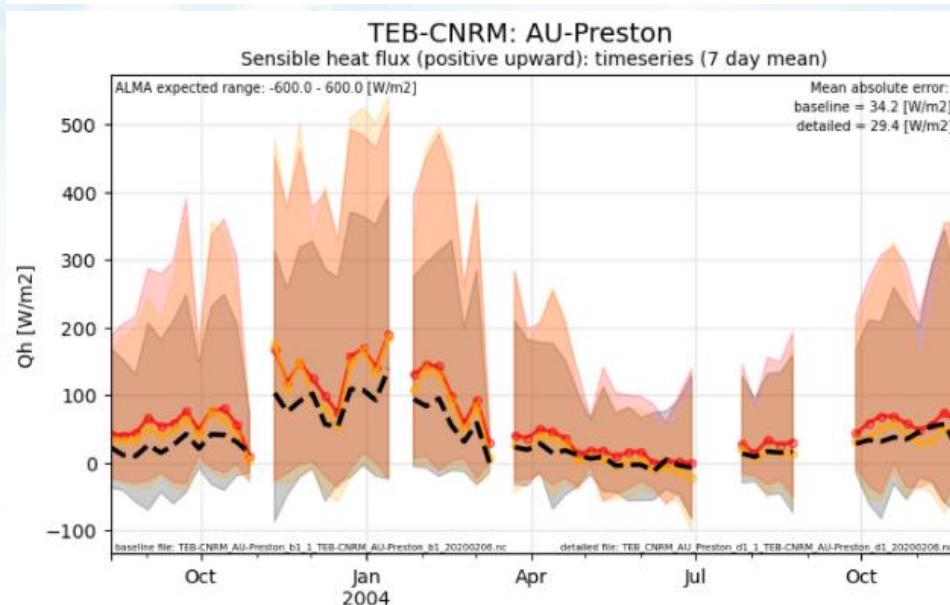
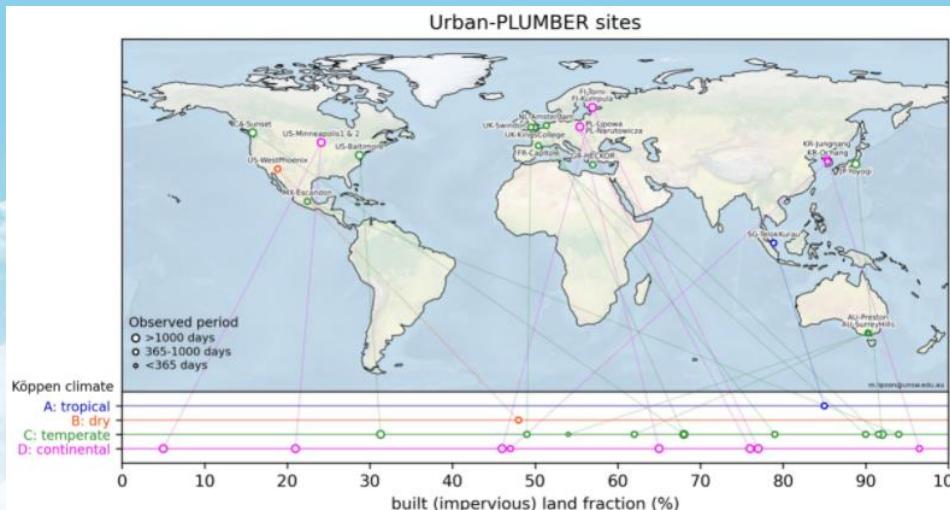
TOWER STATE

MoscowMSU description



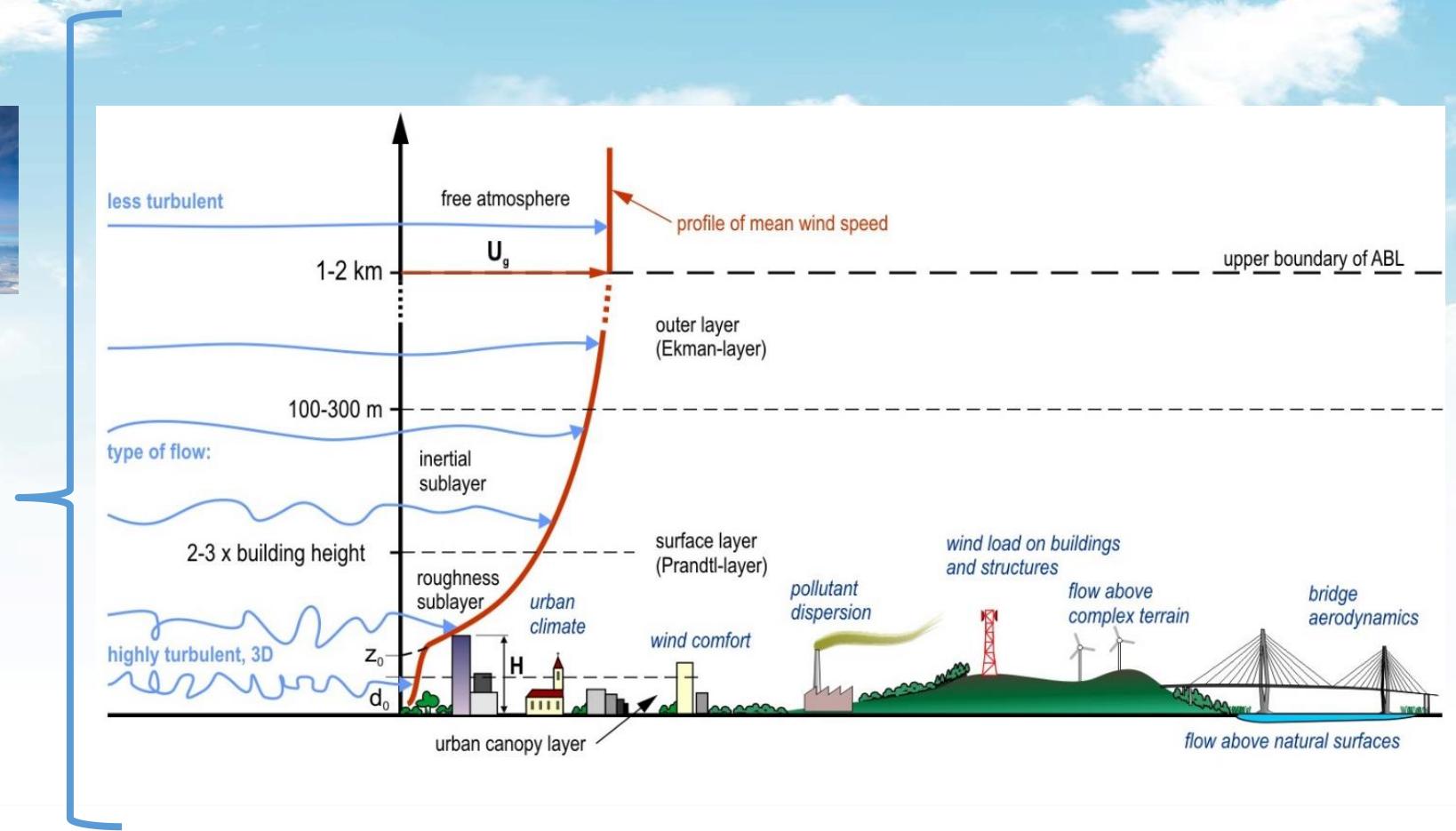
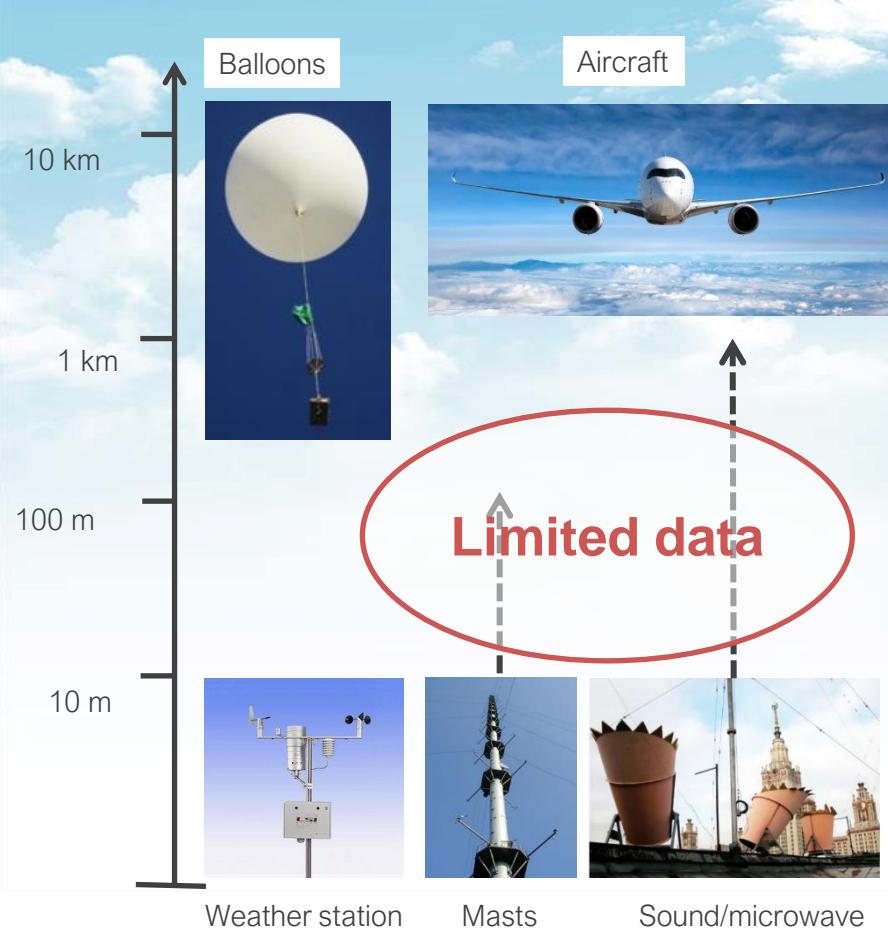
The 22 m tower at the corner of MSU Meteo Observatory area. Currently contains 3 levels of acoustic anemometers (A1, A2 and A3) mounted at 2, 11, and 19 m. We also have a bunch of other stuff (like humidity measurements etc) but haven't connect them to the server yet.

Наблюдения за энергообменом



Наблюдения в пограничном слое

Дефицит данных наблюдений выше уровня крыш



Наблюдения в пограничном слое

- 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



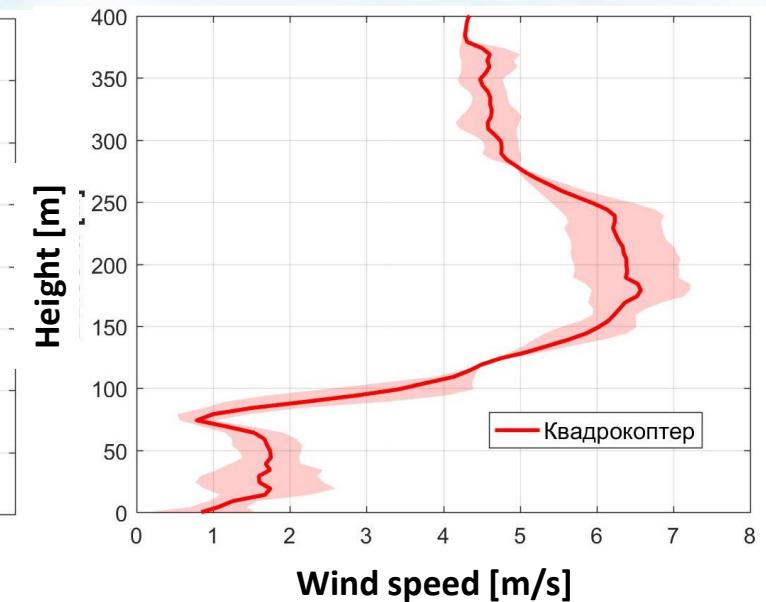
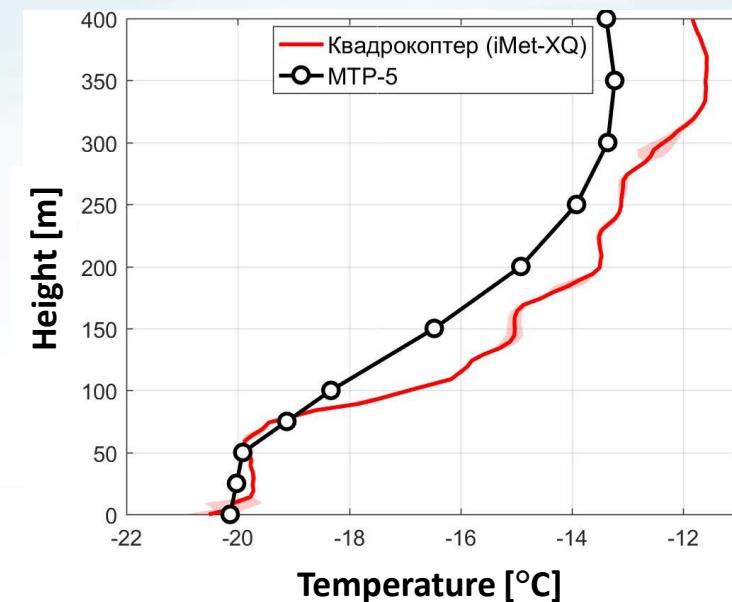
CopterSonde (Segales et al., 2020)



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	✓	✓

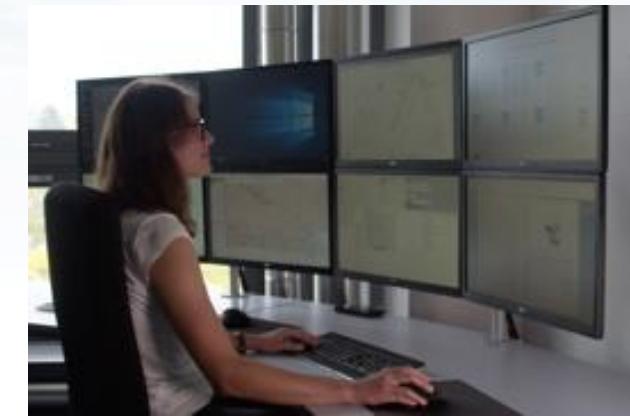


Meteodrone MM-670



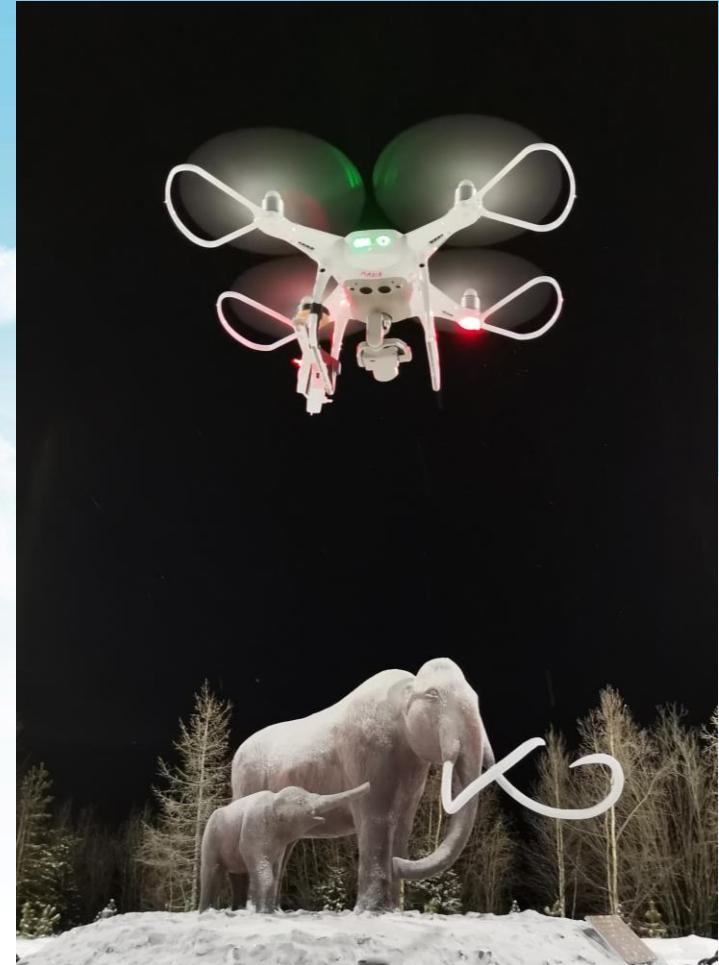
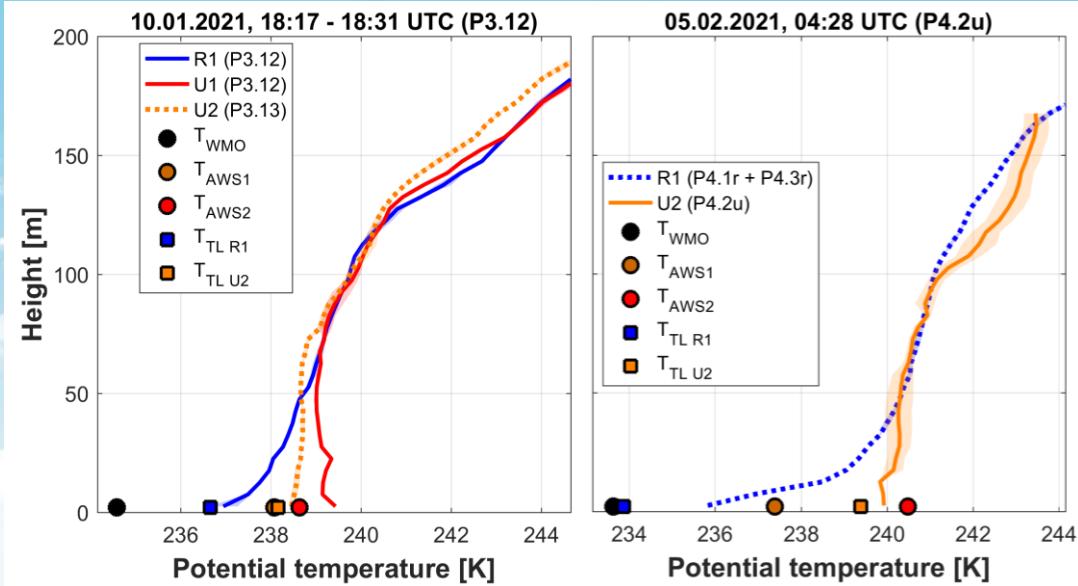
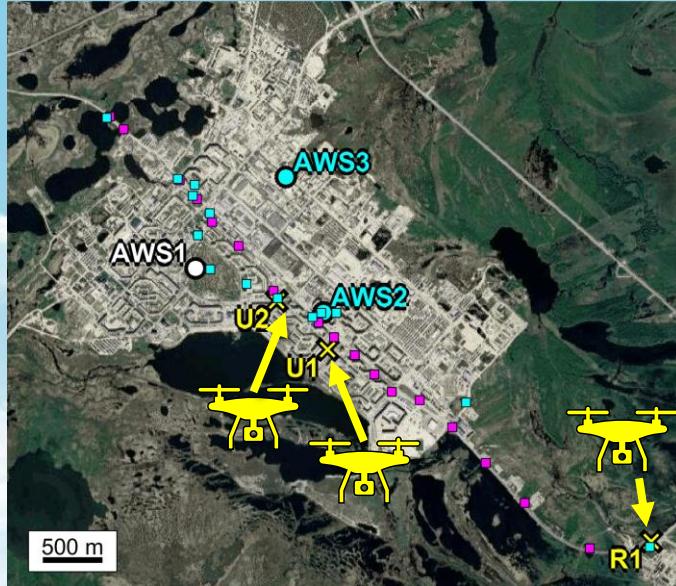
Meteodrone MM-670 ML

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

Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2022. № 6. С. 64–78



Доступ к данным

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

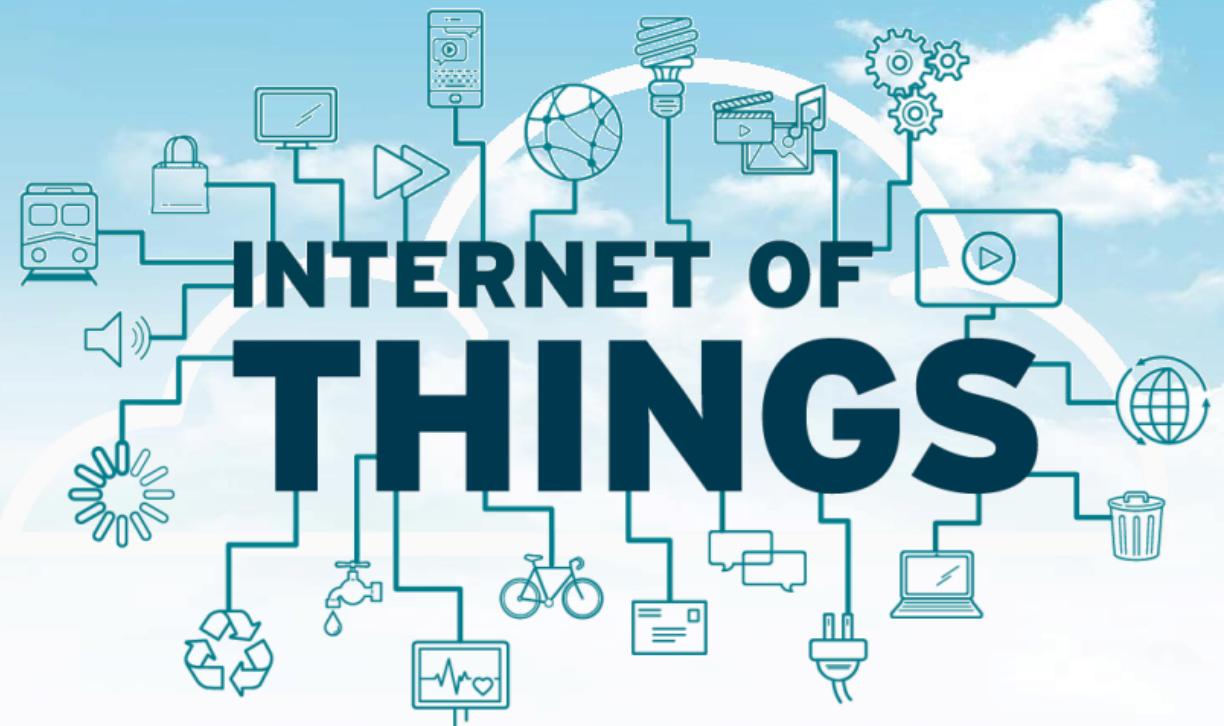
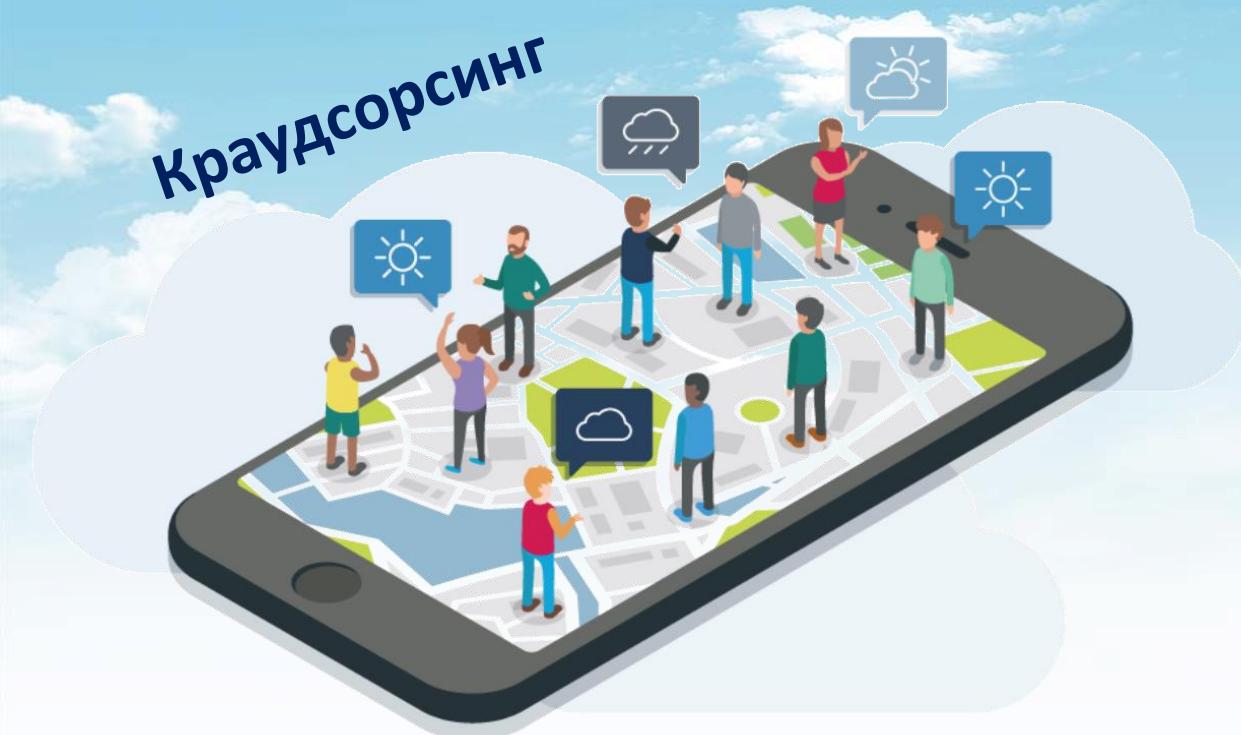
The screenshot shows a Zenodo dataset page. At the top, there's a navigation bar with the Zenodo logo, a search bar containing 'Search records...', and links for 'Communities' and 'My dashboard'. Below the search bar, it says 'Published March 15, 2023 | Version v1' and features two buttons: 'Dataset' 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.'

Новые источники данных

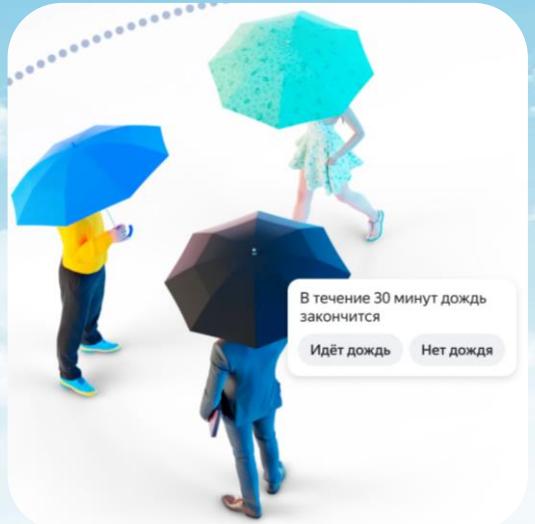


Новые источники данных

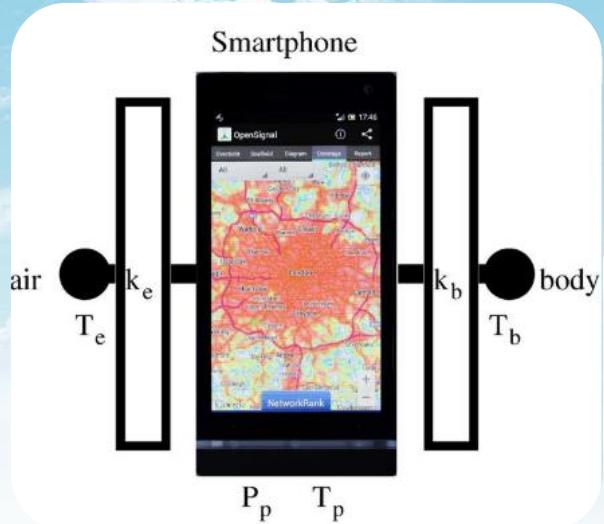
Краудсорсинг



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

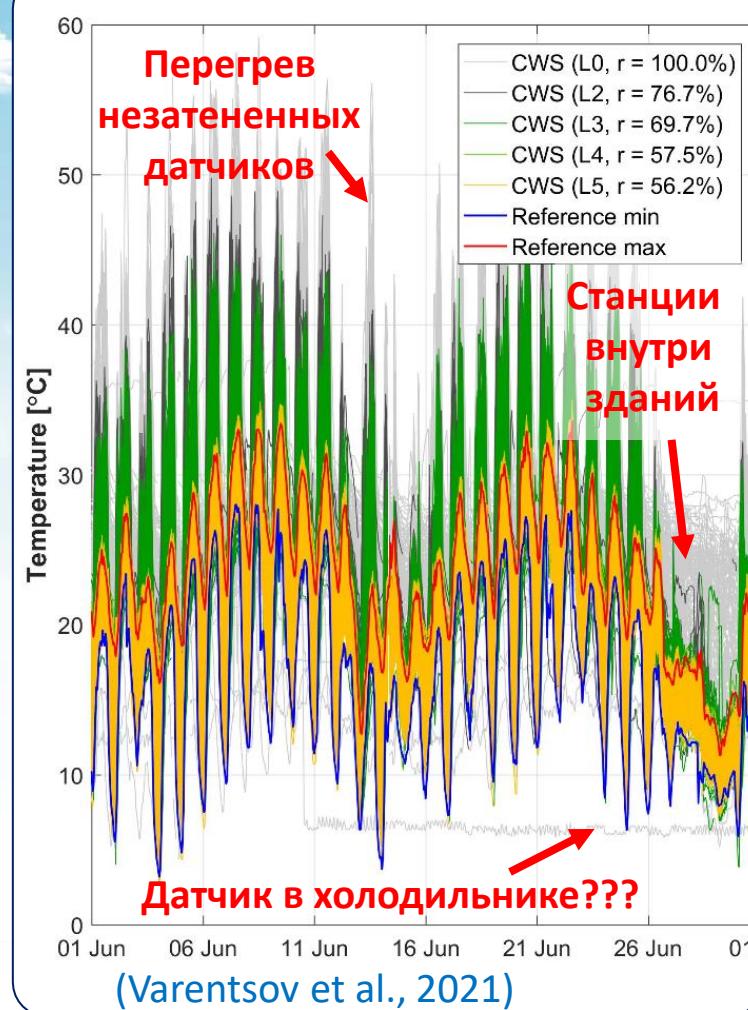
Метеостанции Netatmo

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

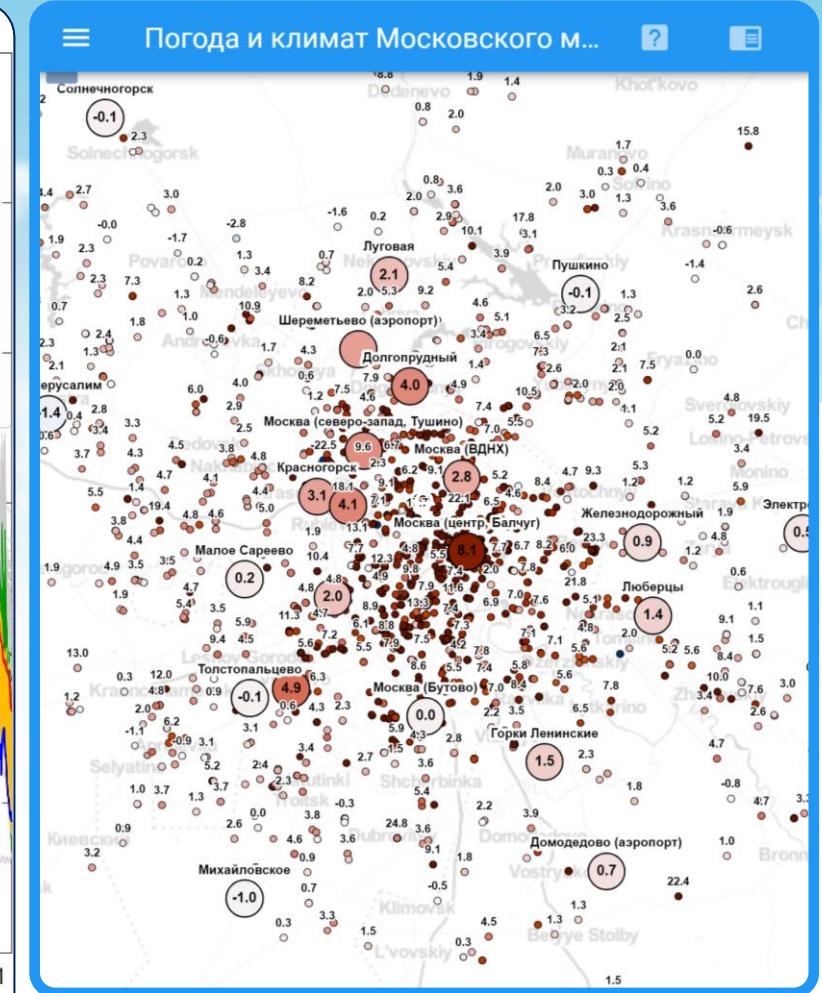


City	# CWS June 2018
Basel	948
Berlin	2100
Bern	650
Gothenburg	410
Hamburg	1190
Lisbon	150
London	830
Moscow	730
Paris	6380
Toulouse	720

Проблема качества данных



Пример для Москвы



<http://carto.geogr.msu.ru/mosclim>

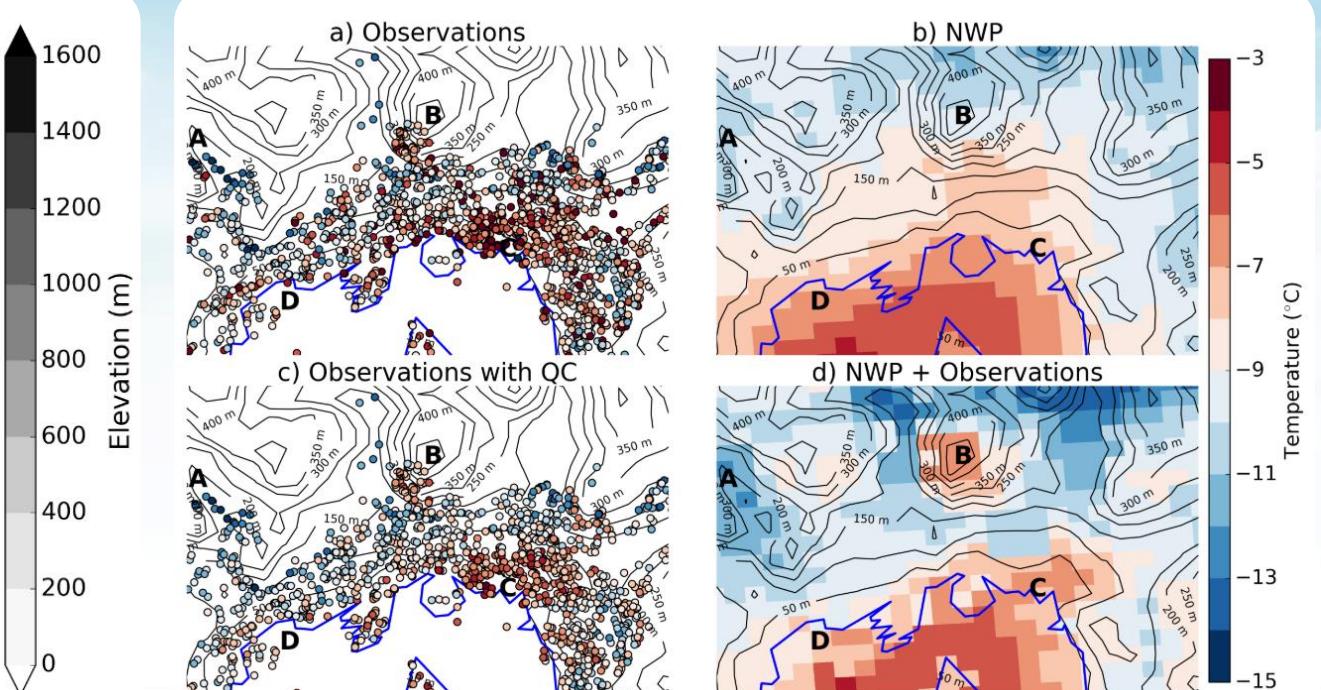
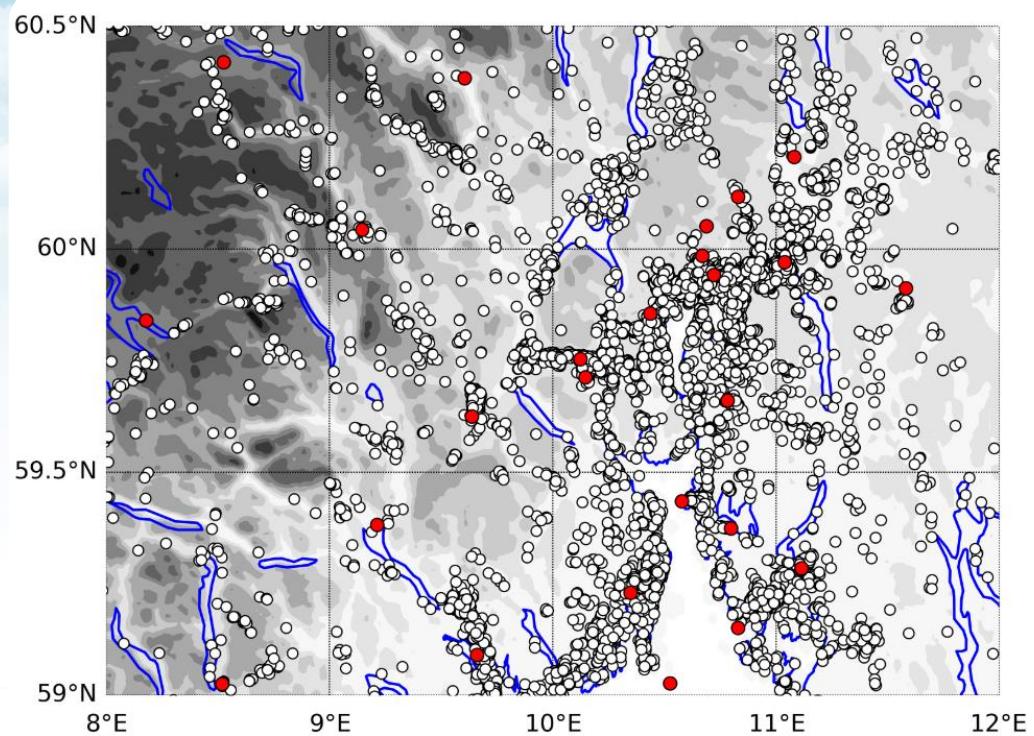
Персональные метеостанции Netatmo

Норвегия | Метеорологический институт

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

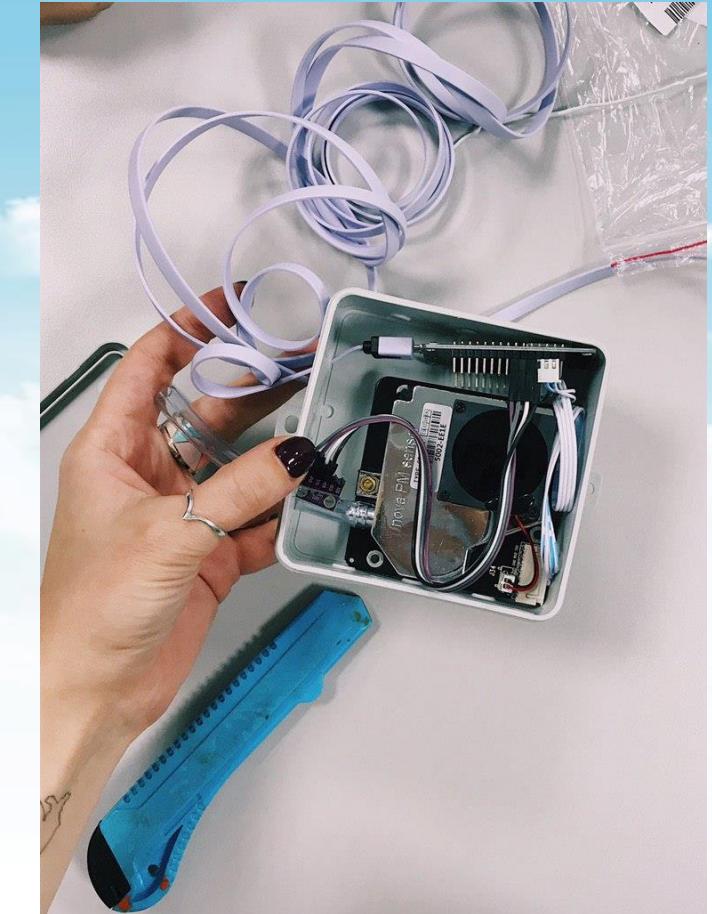
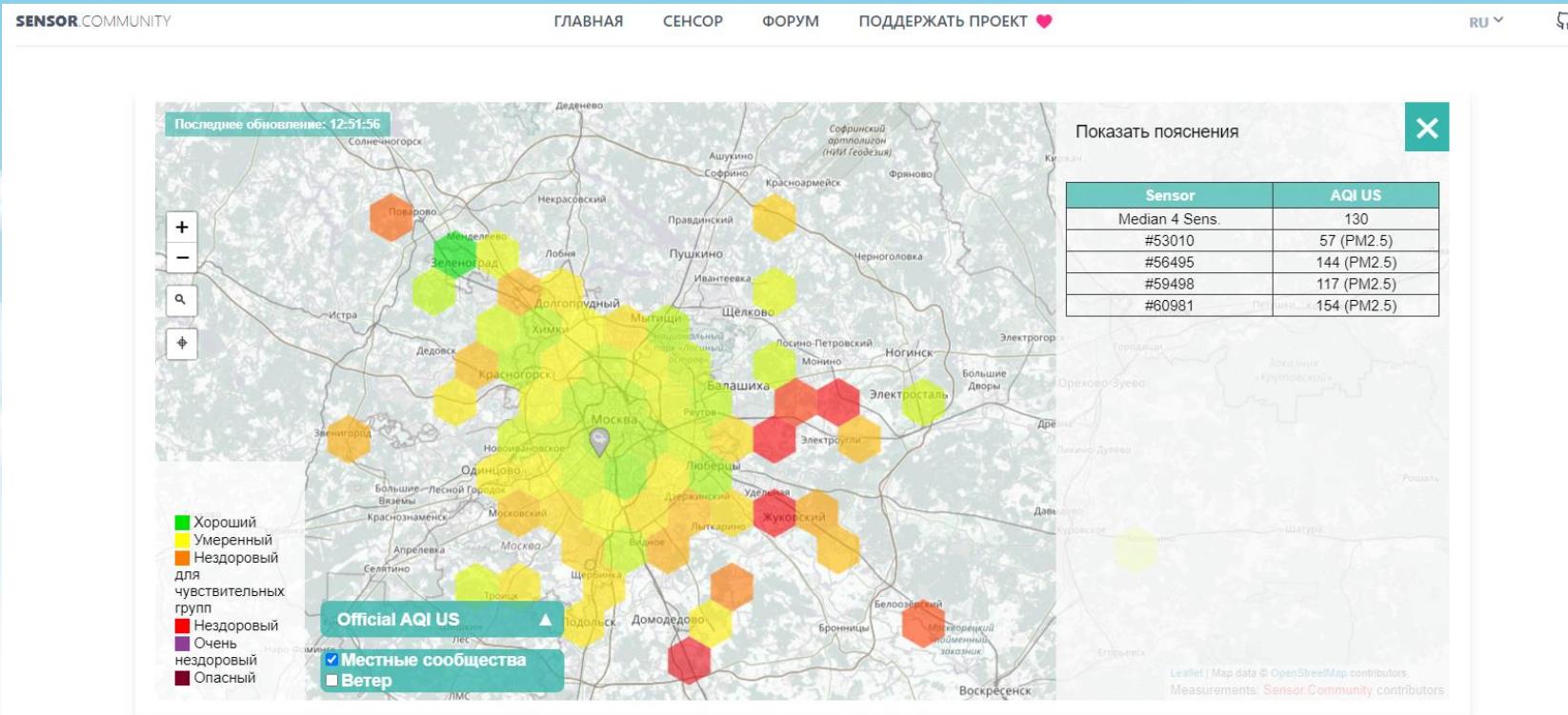
С сегодняшнего дня Yr будет иметь доступ к данным большого количества частных метеостанций по всей стране.

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.

Народный мониторинг качества воздуха

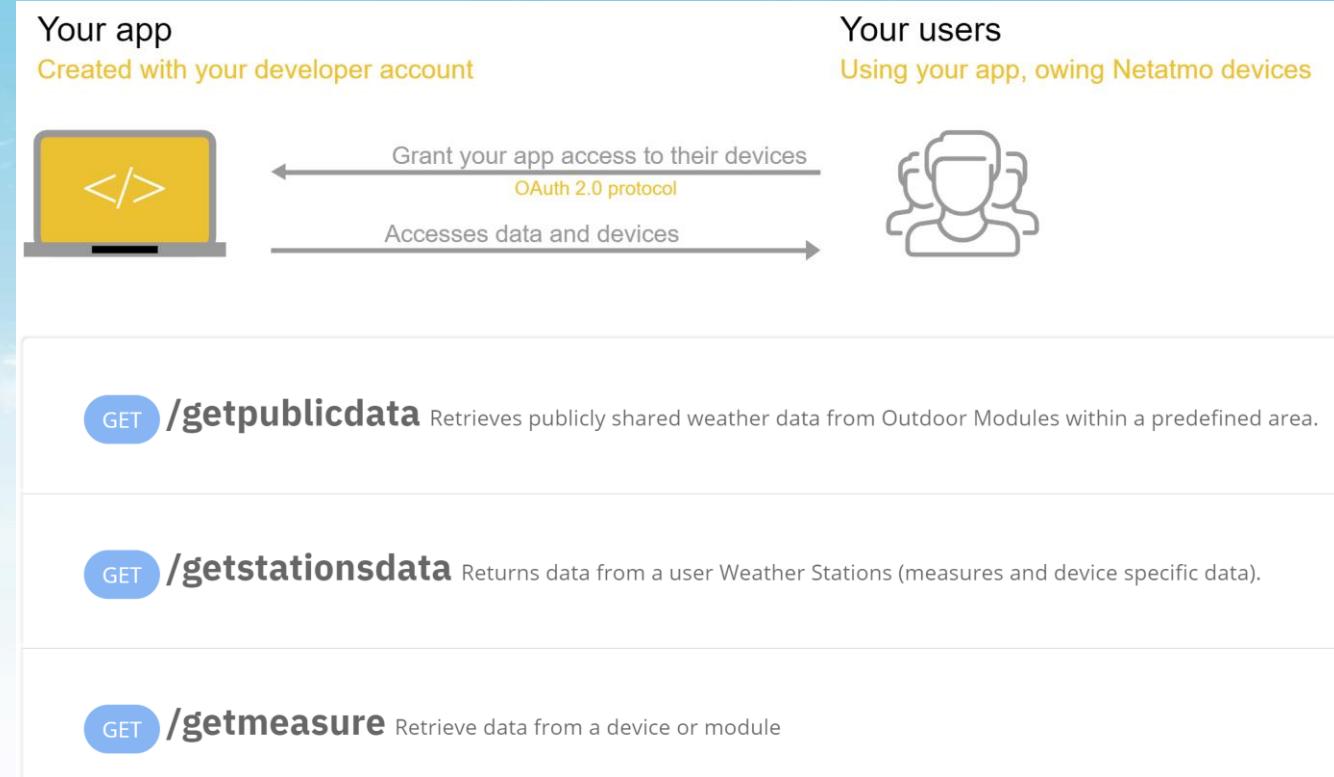


Sensor.Community это всемирная сеть сенсоров
информация с которых доступна в виде открытых данных
об окружающей среде.

Breathe.Moscow & Sensor.Community

Доступ к данным

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





The end

Вопросы?

Домашнее задание (эссе)

- 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 три недели (12 февраля)

Практическая работа №1

Часть 1

- Исследовать доступность данных стационарных наблюдений для выбранного города и его окрестностей (метеостанции, аэропорты, специализированные сети*)
- Выбрать репрезентативные городские и загородные станции
 - Если таких станций нет → выбрать другой город
- Определить точное местоположение этих станций
- 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, например, для лета/зимы
- Проанализировать городские аномалии температуры и влажности(разности «город-фон»):
 - Построить графики временной динамики за отдельные периоды (\approx 15-30 дней)
 - Построить график осредненного суточного хода
 - Построить график осредненного сезонного хода

*поиск данных специализированных сетей – в рамках самостоятельной работы

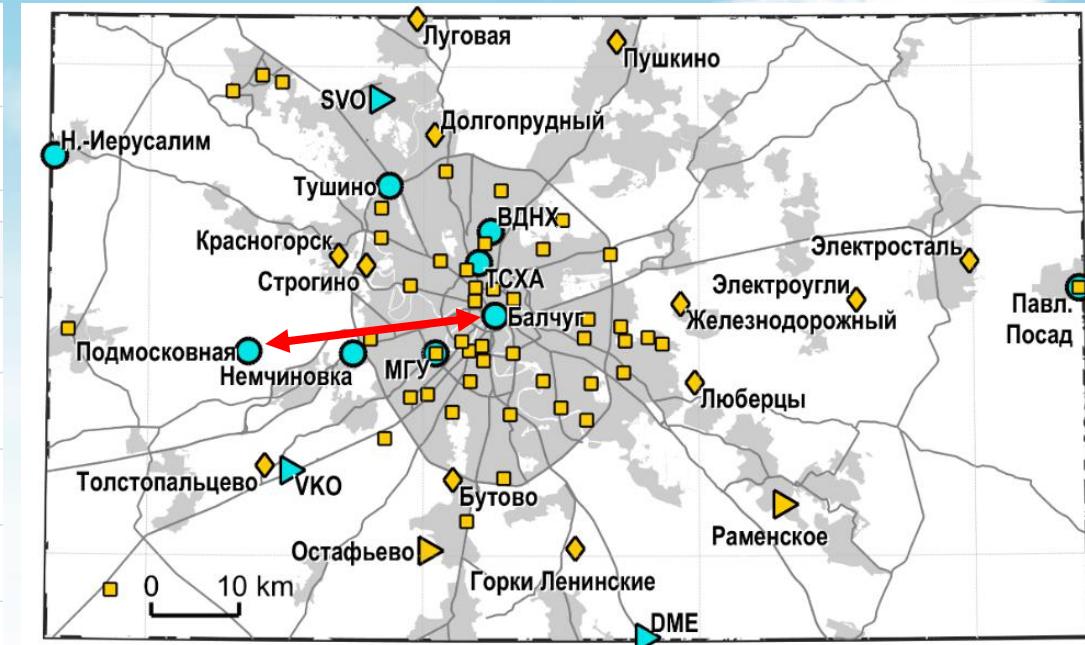
Практическая работа №1

Тренируемся на данных для Москвы

Urban-climate-modelling4HSE / Practice /

 mvarentsov PW1 first version

Name	Last commit message
..	PW1 first version
.ipynb_checkpoints	PW1 first version
PW1_data	PW1 first version
PW1_example1.ipynb	PW1 first version



<https://github.com/mvarentsov/Urban-climate-modelling4HSE/tree/main/Practice>