

Создание базы данных наблюдений за турбулентным энергообменом городских ландшафтов с атмосферой в Северной Евразии

Варенцов М. И.^{1,2,*}, Тельминов А.Е.³, Люлюкин В.С.², Ярославцев А.М.⁴,
Джоу Л.⁵, Окунева В.И.¹, Самсонов Т.Е.¹, Степаненко В.М.¹, Репина И.А.^{2,1}

а также Кобзев А.А., Богомоллов В.Ю., Артамонов А.Ю., Пашкин А.Д., Дрозд И.Д., Гавриков А.В. и др.

1) МГУ имени М.В. Ломоносова, НИВЦ & географический факультет, Москва, Россия

2) Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

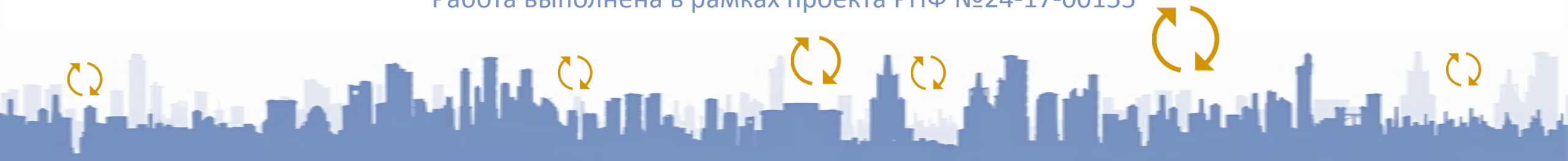
3) Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

4) Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

5) Институт физики атмосферы Китайской академии наук, Пекин, КНР

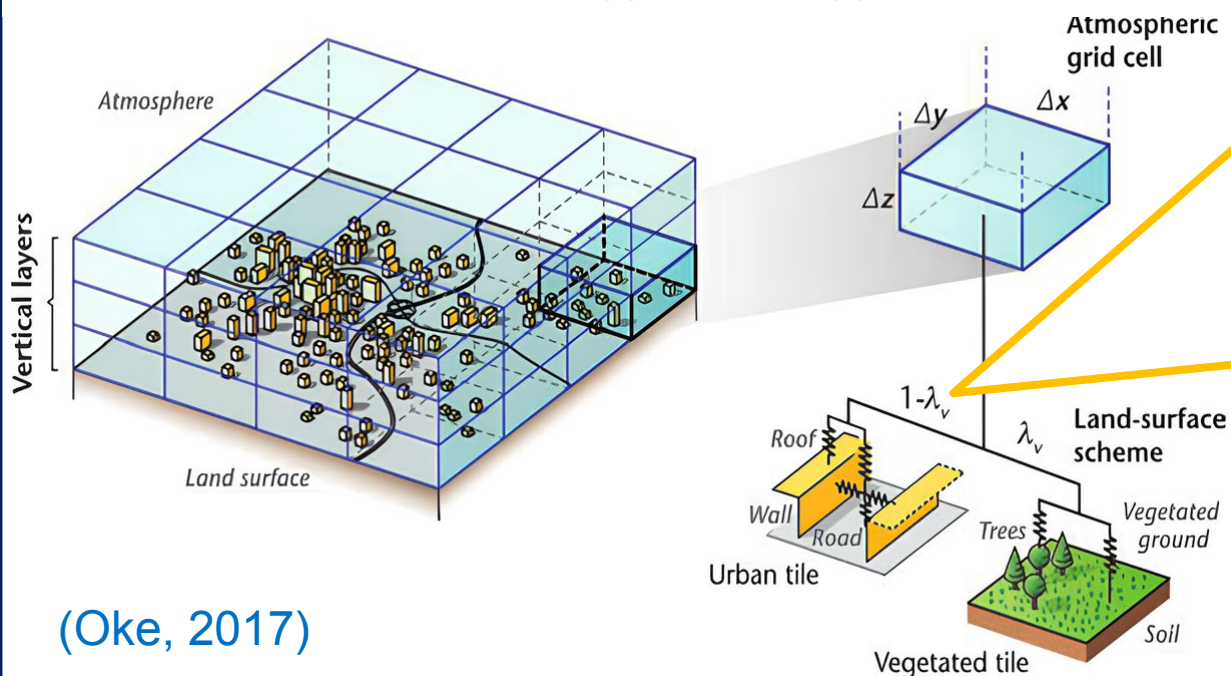
[*mikhail.varentsov@srcc.msu.ru](mailto:mikhail.varentsov@srcc.msu.ru)

Работа выполнена в рамках проекта РНФ №24-17-00155



Мотивация: городские параметризации

Мезомасштабные модели погоды и климата



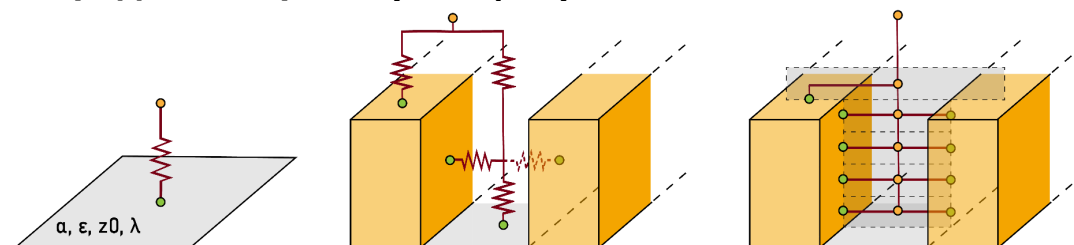
(Oke, 2017)

Прогноз
погоды

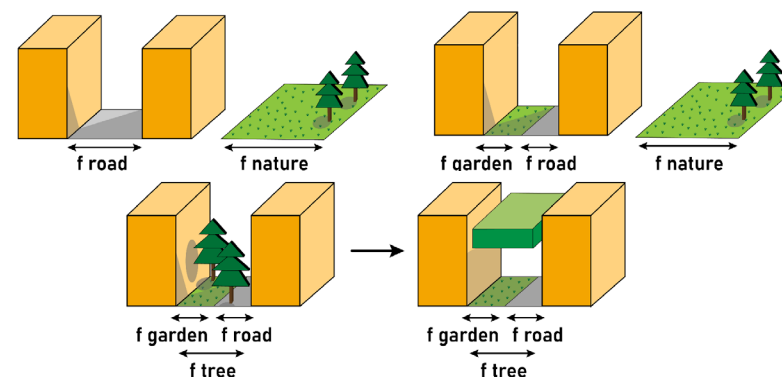
Региональное
моделирование
климата

Обучение
ML-моделей

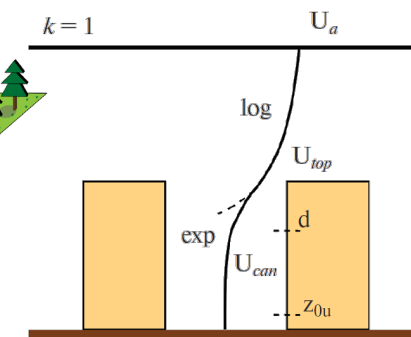
Городские параметризации разной степени сложности



Различные подходы к учету городской растительности



Различные параметризации профиля ветра



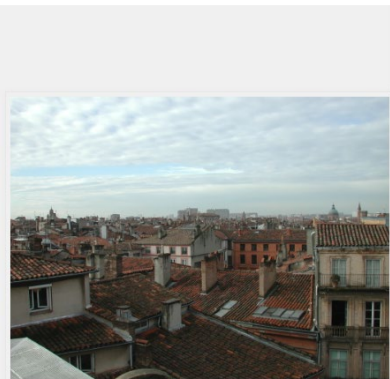
Tarasova et al. (2023) Parameterization of the Interaction between the Atmosphere and the Urban Surface: Current State and Prospects

Как их проверять и калибровать?

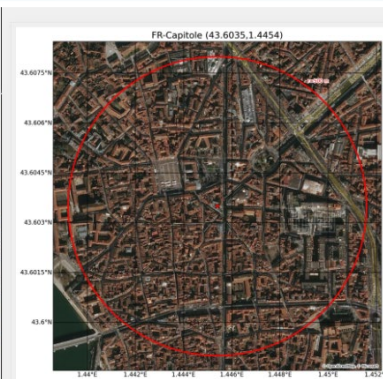
Мотивация: проект Urban Plumber

Набор данных Urban Plumber (Lipson et al., 2022, ESSD)

- Данные наблюдений за потоками явного тепла, влаги и импульса выше уровня крыш
- Данные форсинга – приходящие радиационные потоки и метеопараметры в атмосфере над городом
- Характеристики подстилающей поверхности и городской застройки в окрестностях точки наблюдений
- Единая структура данных и метаданных для всех городов
- Данные в открытом доступе



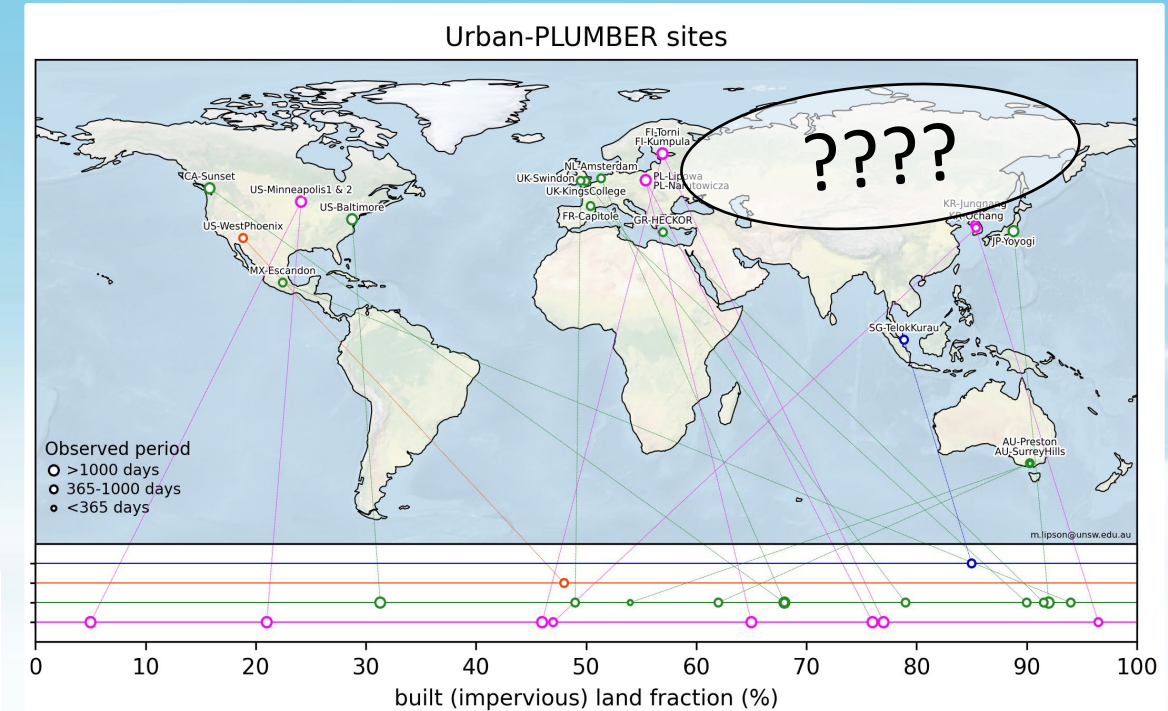
Site photo. © V. Masson



Site aerial photo with 500 m radius. © OpenStreetMap, Microsoft

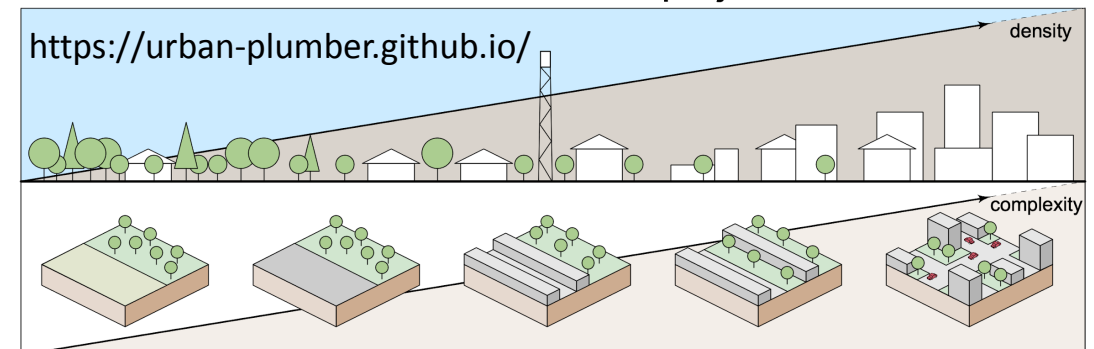


Lipson et al. (2022, ESSD). Harmonized gap-filled datasets from 20 urban flux tower sites.
Lipson et al. (2023, QJRMS). Evaluation of 30 urban land surface models in the Urban-PLUMBER project: Phase 1 results.



Urban-PLUMBER model evaluation project

<https://urban-plumber.github.io/>

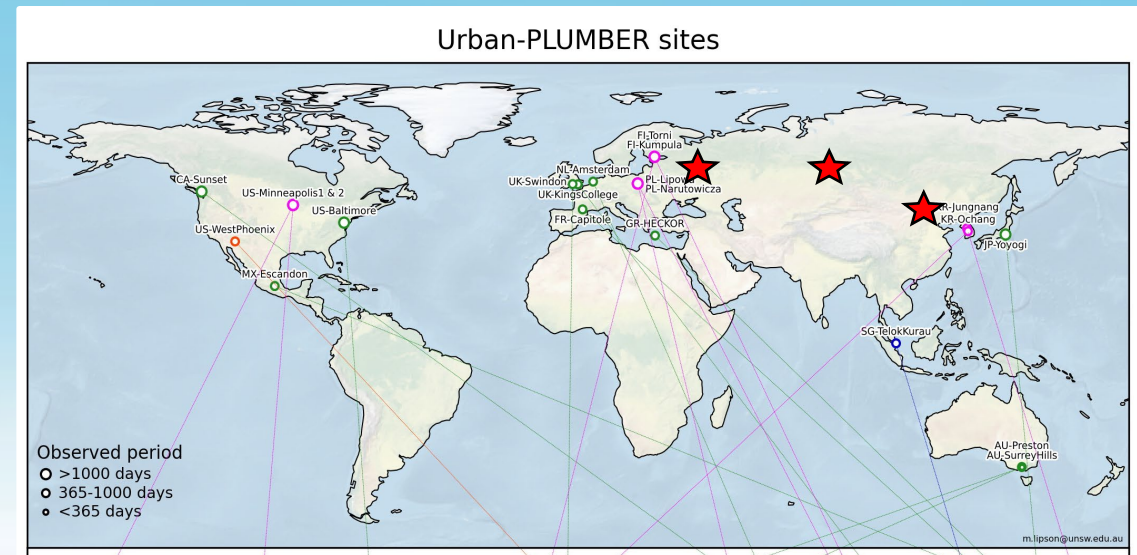


Цель исследования

Создание массива данных наблюдений за турбулентным обменом городских ландшафтов с атмосферой по стандартам проекта Urban Plumber для **континентальных районов Северной Евразии**, а именно для городов **Москва, Томск и Пекин**.

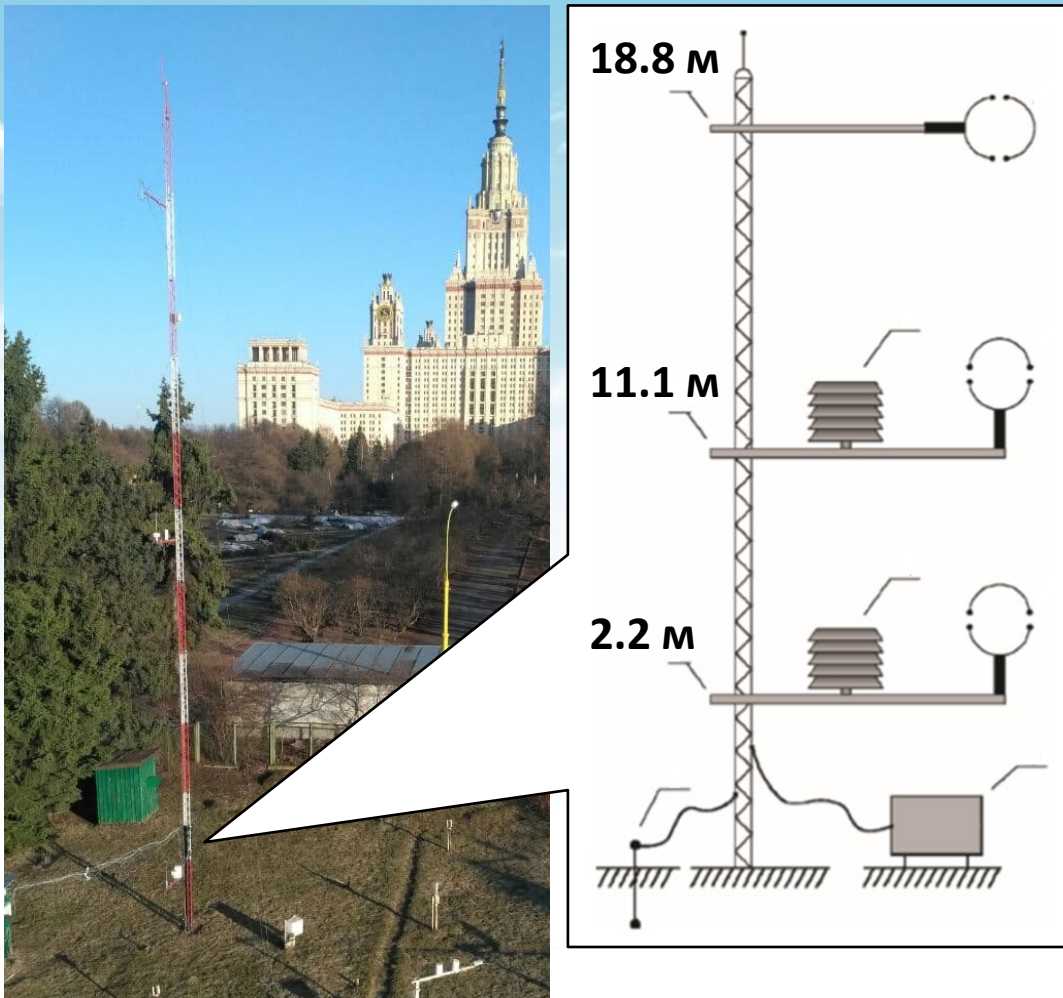
Задачи:

- Сбор и систематизация данных наблюдений
- Фильтрация выбросов и контроль качества данных
- Первичный анализ данных наблюдений
- Подковка данных о параметрах поверхности и застройки



Наблюдения в Московском регионе

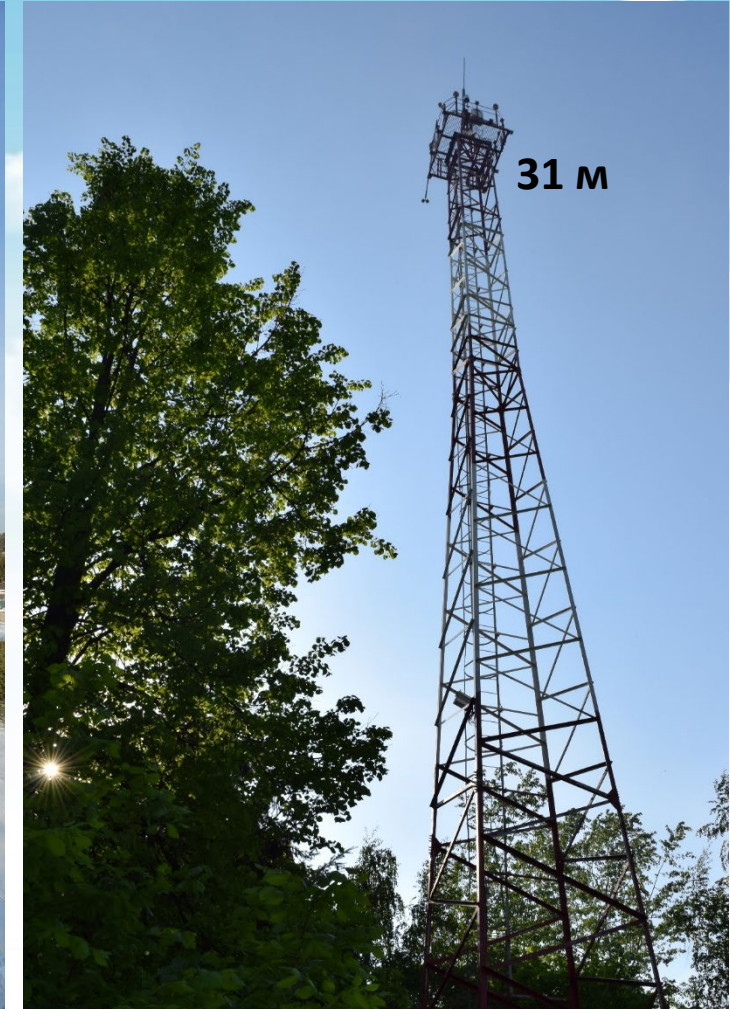
Метеообсерватория МГУ имени М.В. Ломоносова



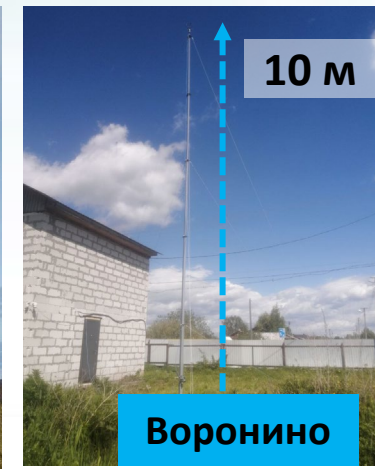
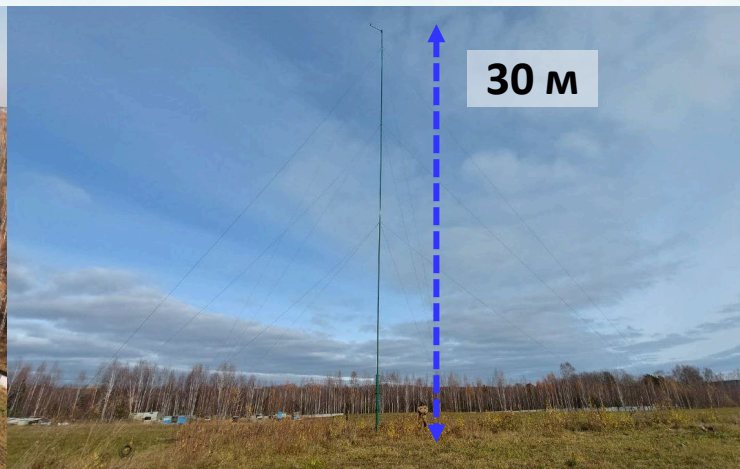
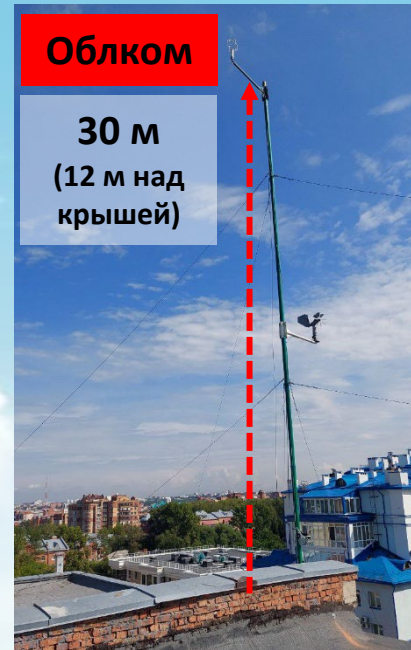
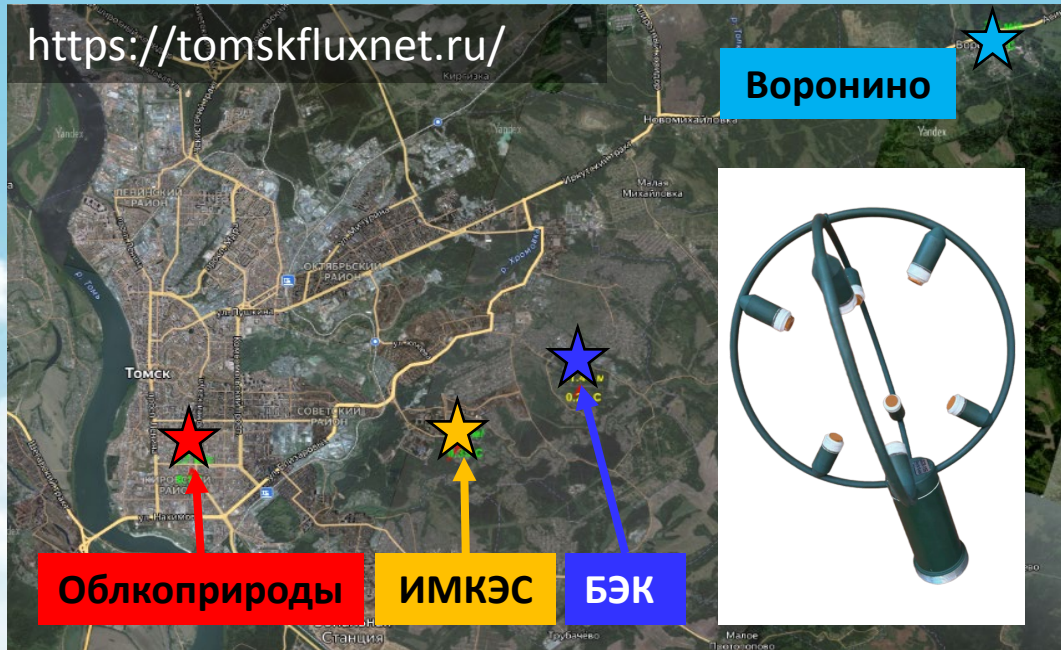
ЗНС ИФА РАН



ЛОД ТСХА им. Тимирязева



Сеть TomskFluxNet в г. Томск



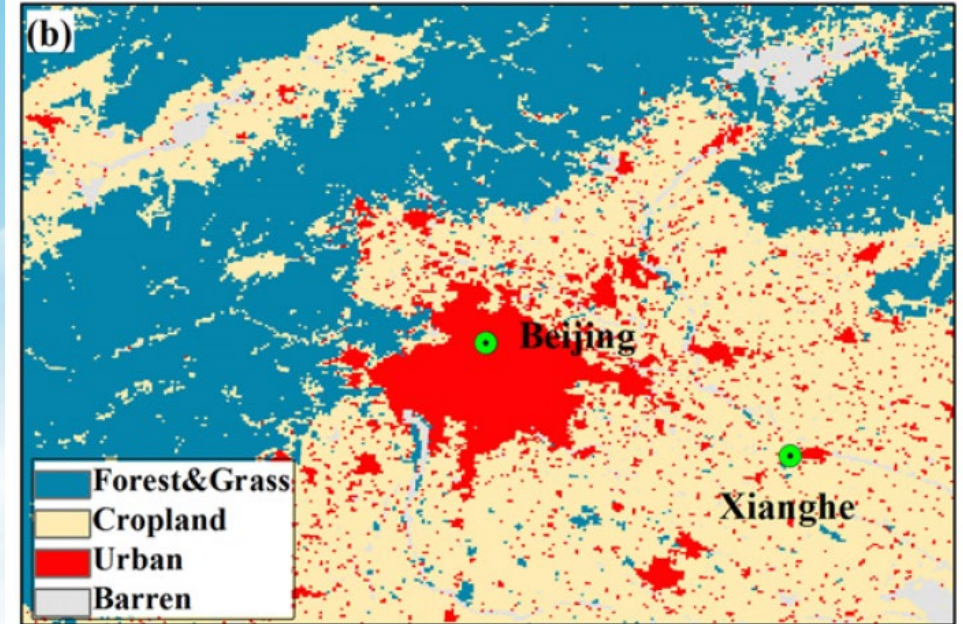
Наблюдения ИФА КАН в Пекине

Пекин, 325 м,
15 уровней



Photo by Irina Repina

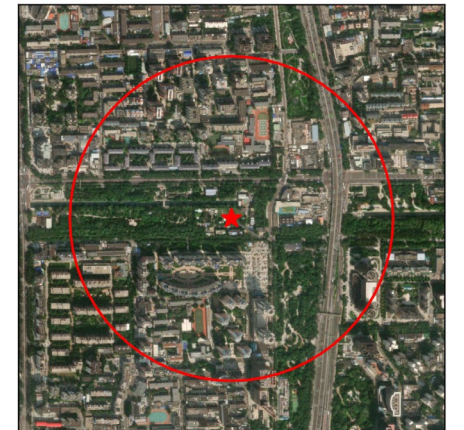
Xianghe (Сянхе), 80 м,
3 уровня



Beijing_Xianghe



Beijing_IAP



Li et al. (2015, ERL) Contrasting responses of urban and rural surface energy budgets to heat waves ...

Параметры поверхности и застройки

Moscow_MSU



Moscow_LOD



Moscow_ZNS



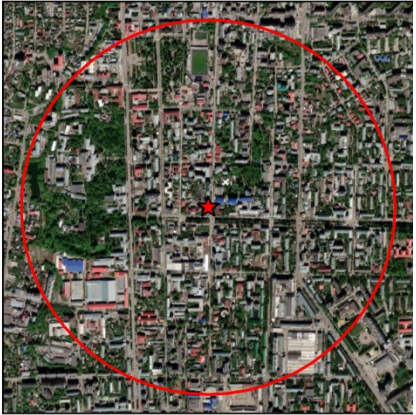
Beijing_IAP



Beijing_Xianghe



Tomsk_Oblkom



Tomsk_IMCES



Tomsk_BEK



Tomsk_Voronino



Параметры поверхности и застройки

Site characteristics

id	parameter	value	units	source
1	latitude	43.6035	degrees_north	Masson et al. (2008)
2	longitude	1.4454	degrees_east	Masson et al. (2008)
3	ground_height	143	m	Masson, pers. comms.
4	measurement_height_above_ground	48.05	m	Goret et al. (2019)
5	impervious_area_fraction	0.9	1	Goret et al. (2019)
6	tree_area_fraction	0.08	1	Goret et al. (2019)
7	grass_area_fraction	0.02	1	Goret et al. (2019)
8	bare_soil_area_fraction	0	1	Goret et al. (2019)
9	water_area_fraction	0	1	Goret et al. (2019)
10	roof_area_fraction	0.62	1	Goret et al. (2019)
11	road_area_fraction	0.28	1	Goret et al. (2019)
12	other_paved_area_fraction	0	1	included in road fraction

13	building_mean_height	15	m	Goret et al. (2019)
14	tree_mean_height	15	m	Goret et al. (2019)
15	roughness_length_momentum	1.5	m	Goret et al. (2019) (rule of thumb)
16	displacement_height	10.5	m	Goret et al. (2019) (rule of thumb)
17	canyon_height_width_ratio	1.32	1	estimated, see notes
18	wall_to_plan_area_ratio	1	1	Goret et al. (2019)
19	average_albedo_at_midday	0.127	1	median of observations
20	resident_population_density	13000	person/km2	Goret et al. (2019)
21	anthropogenic_heat_flux_mean	47.5	W/m2	Varquez et al. (2021)
22	topsoil_clay_fraction	0.19	1	OpenLandMap
23	topsoil_sand_fraction	0.47	1	OpenLandMap
24	topsoil_bulk_density	1370	kg/m3	OpenLandMap
25	building_height_standard_deviation	6.1	m	Ratti et al. (2002)

Параметры поверхности и застройки

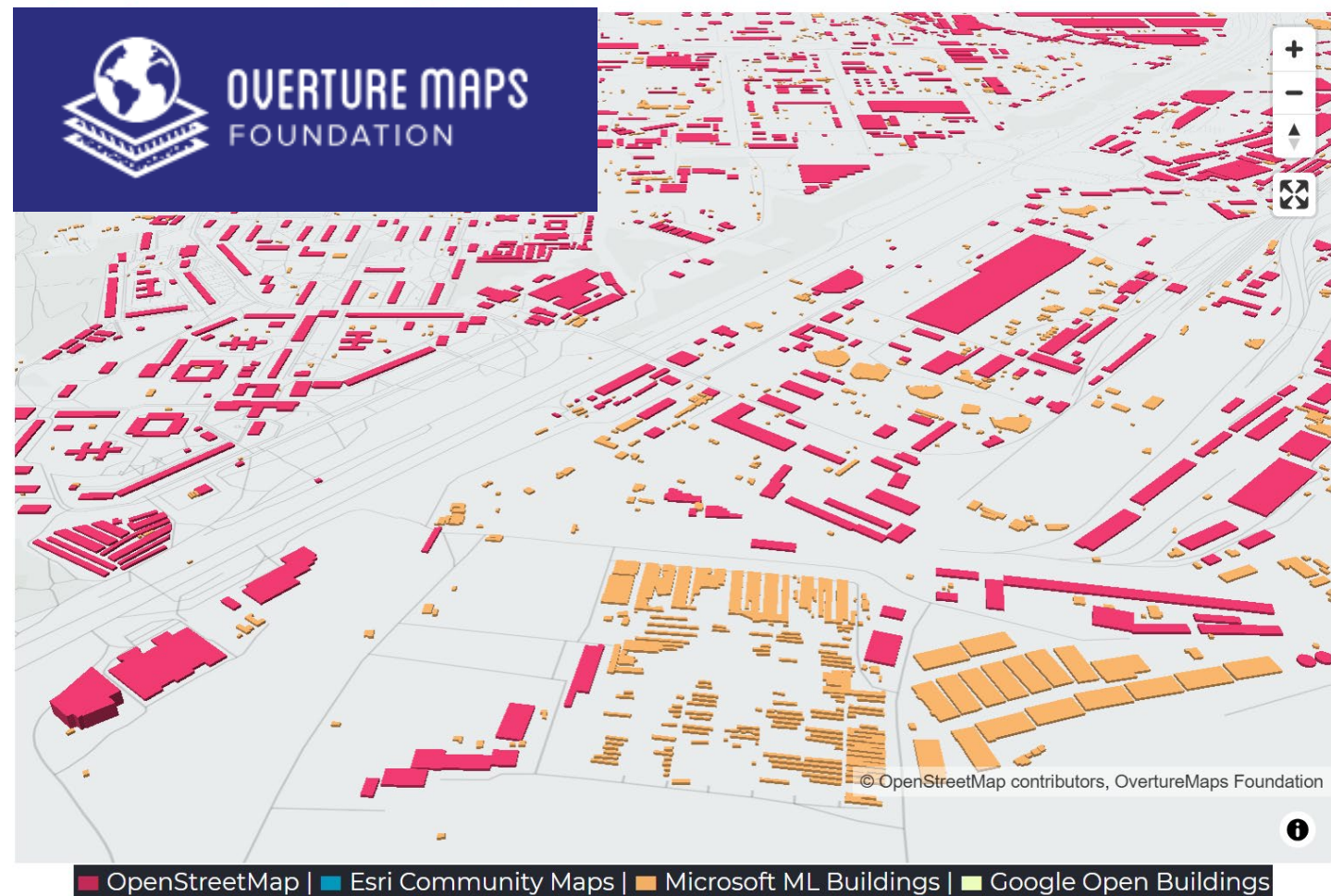
Исходные данные:

- Данные о застройке (Overture maps)
- Цифровая модель рельефа (FabDEM)
- Типы земельного покрова (ESA WorldCover)
- Карты локальные климатические зоны

Восстановление этажности зданий, где она неизвестна, с помощью машинного обучения (Okuneva et al., 2025)

Представление данных в формате многоканального растра высокого разрешения (5 м)

Агрегирование в пределах окрестностей точек измерений



Параметры поверхности и застройки

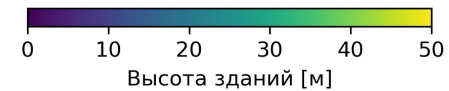
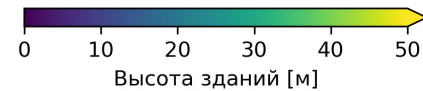
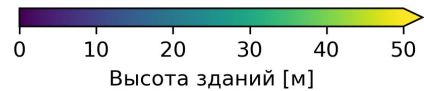
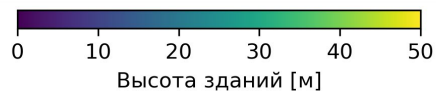
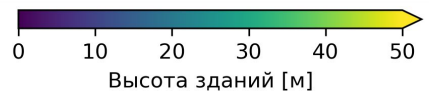
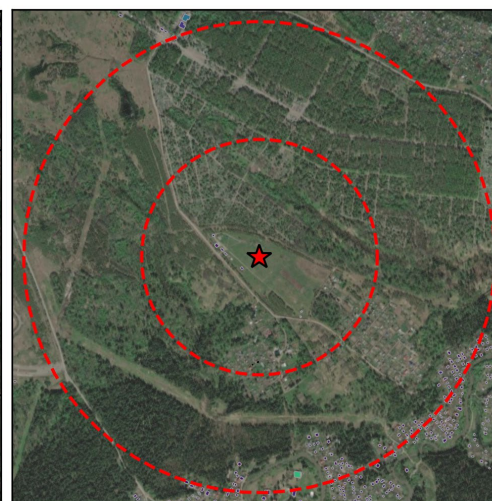
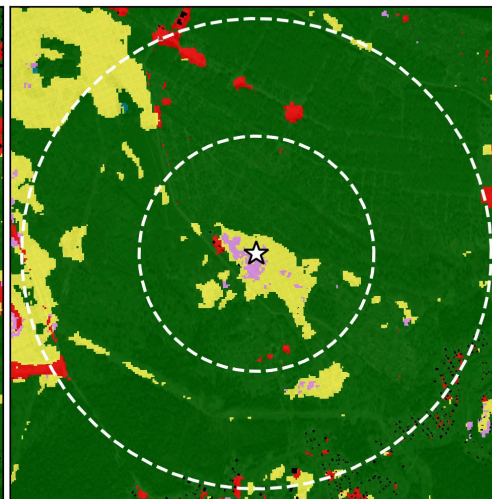
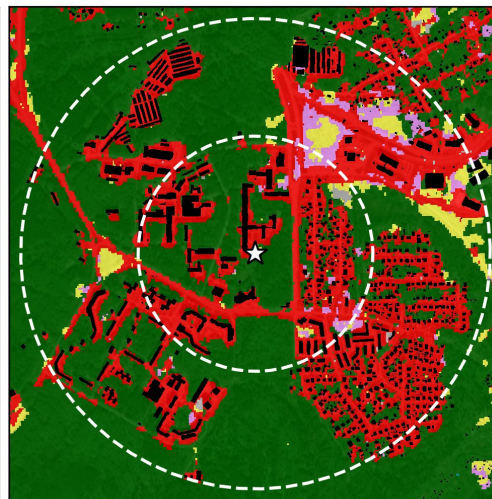
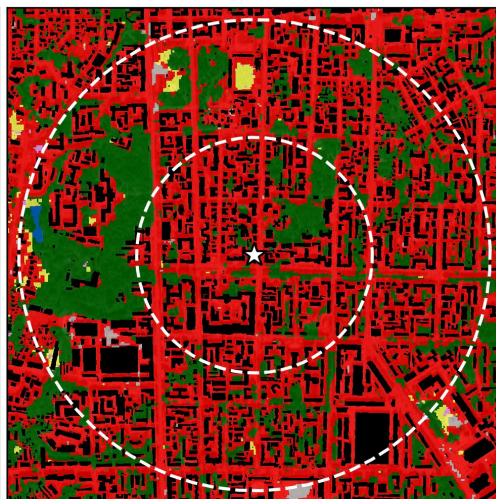
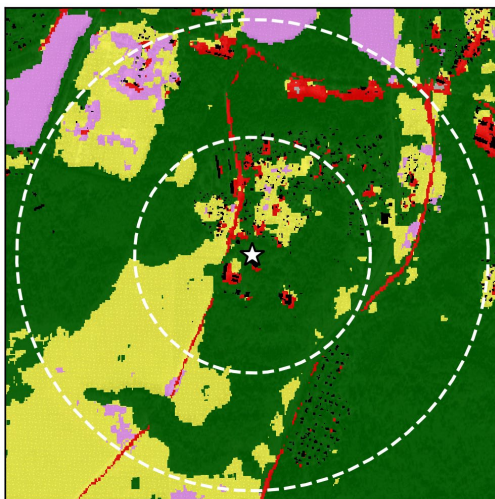
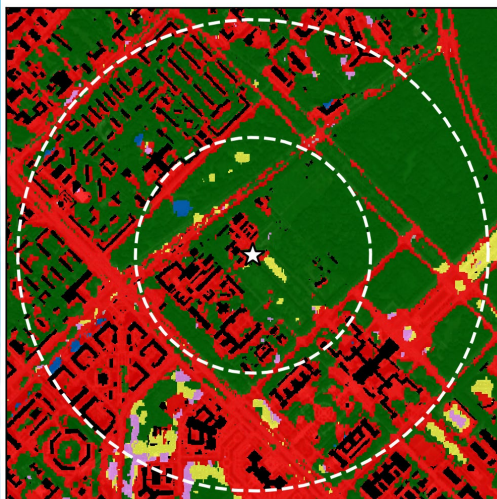
Москва, МГУ

Москва, ЗНС

Томск, Облком

Томск, ИМКЭС

Томск, БЭК



Обработка данных

Обработка исходных данных

независимо для каждой из мачт, расчет потоков с дискретностью 20/30 минут

Фильтрация

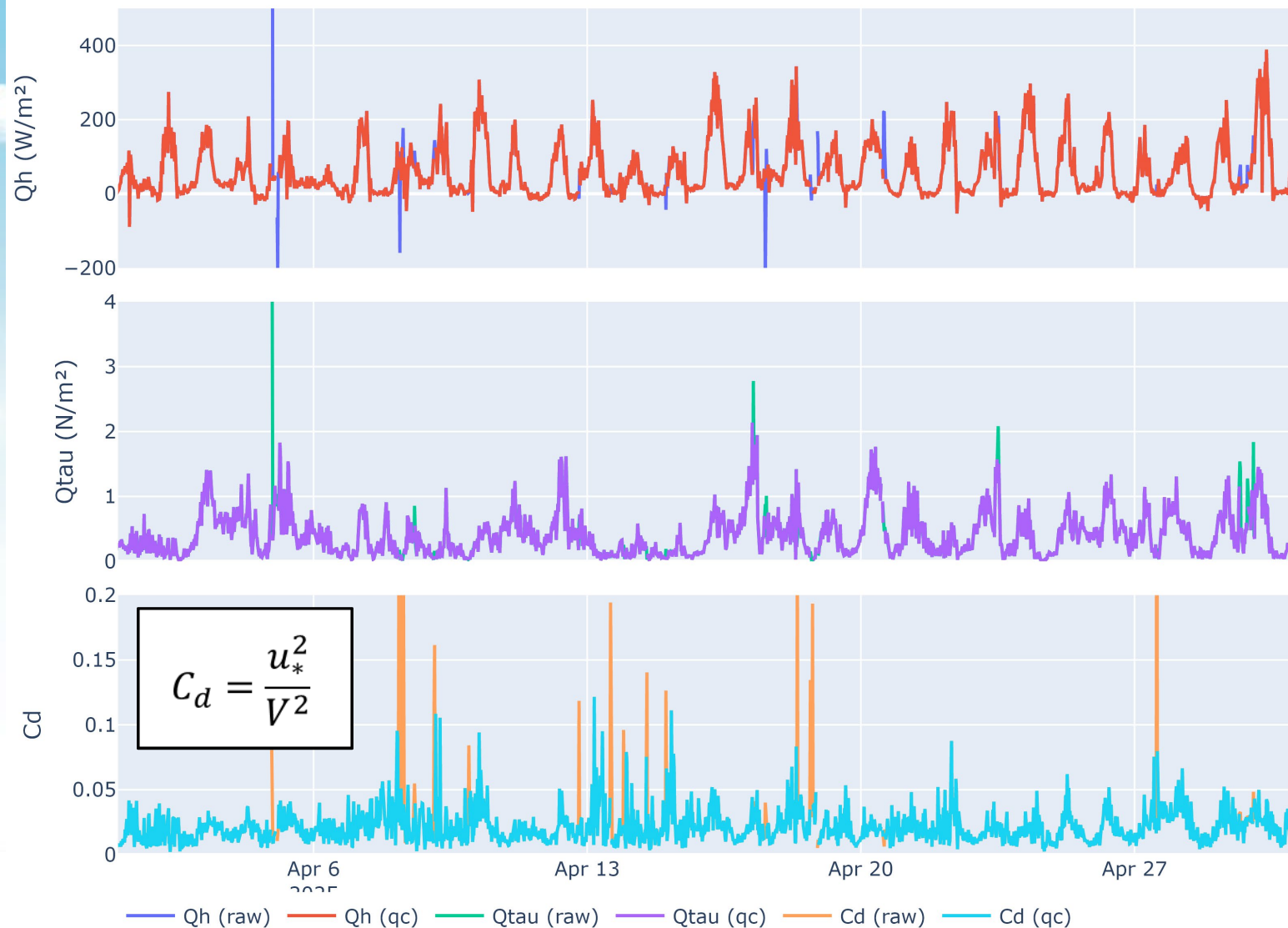
по пороговым значениям

```
filter_lims = {'Qh': [-300, 600],  
               'Qle': [-300, 600],  
               'Qtau': [0, 5],  
               'Cd': [0, 1]}
```

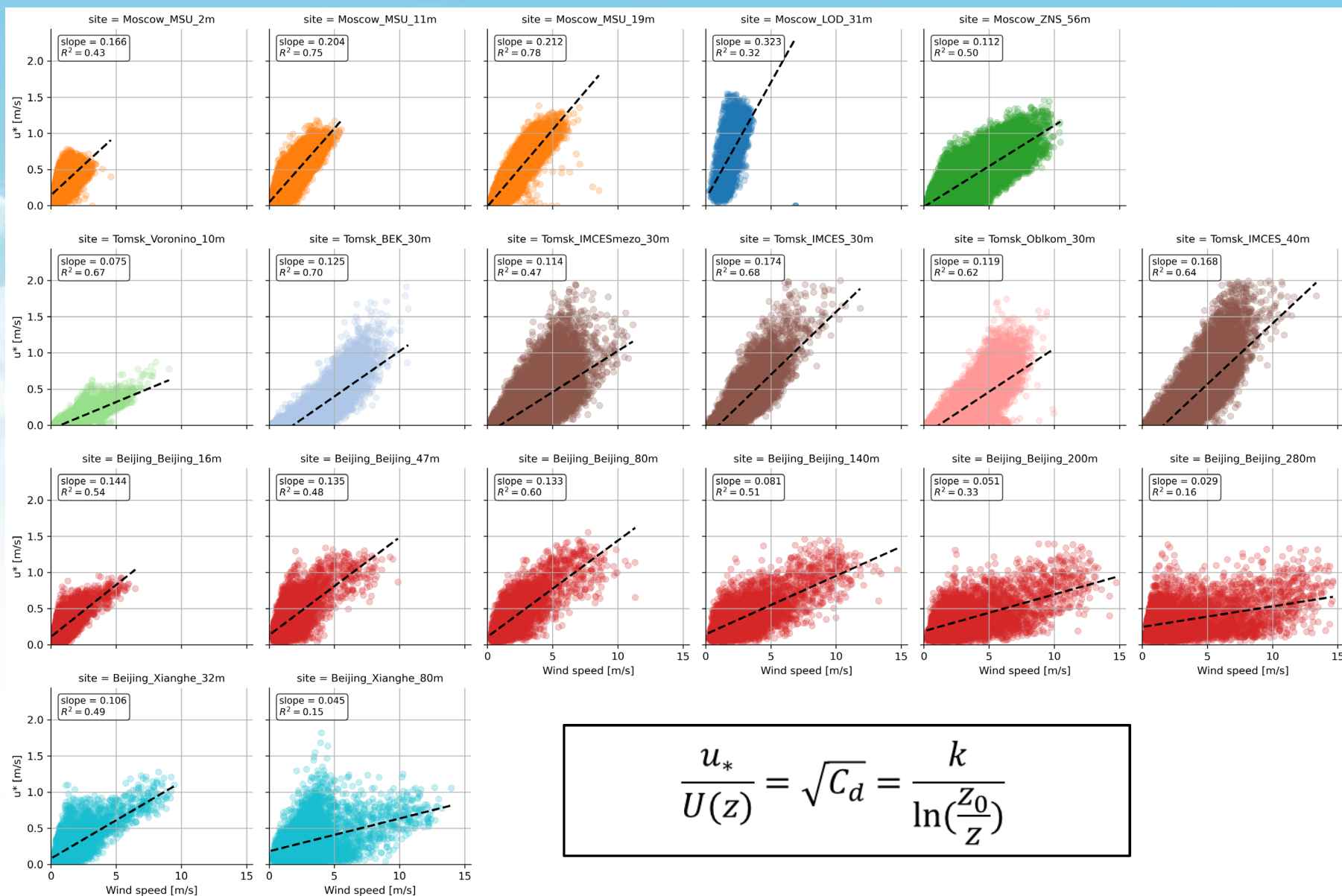
Идентификация выбросов

по критерию 5-σ с учетом суточного и сезонного хода
(размер окна 3 ч * 30 дней) с повтором
отдельно для Tau, H, LE, Cd

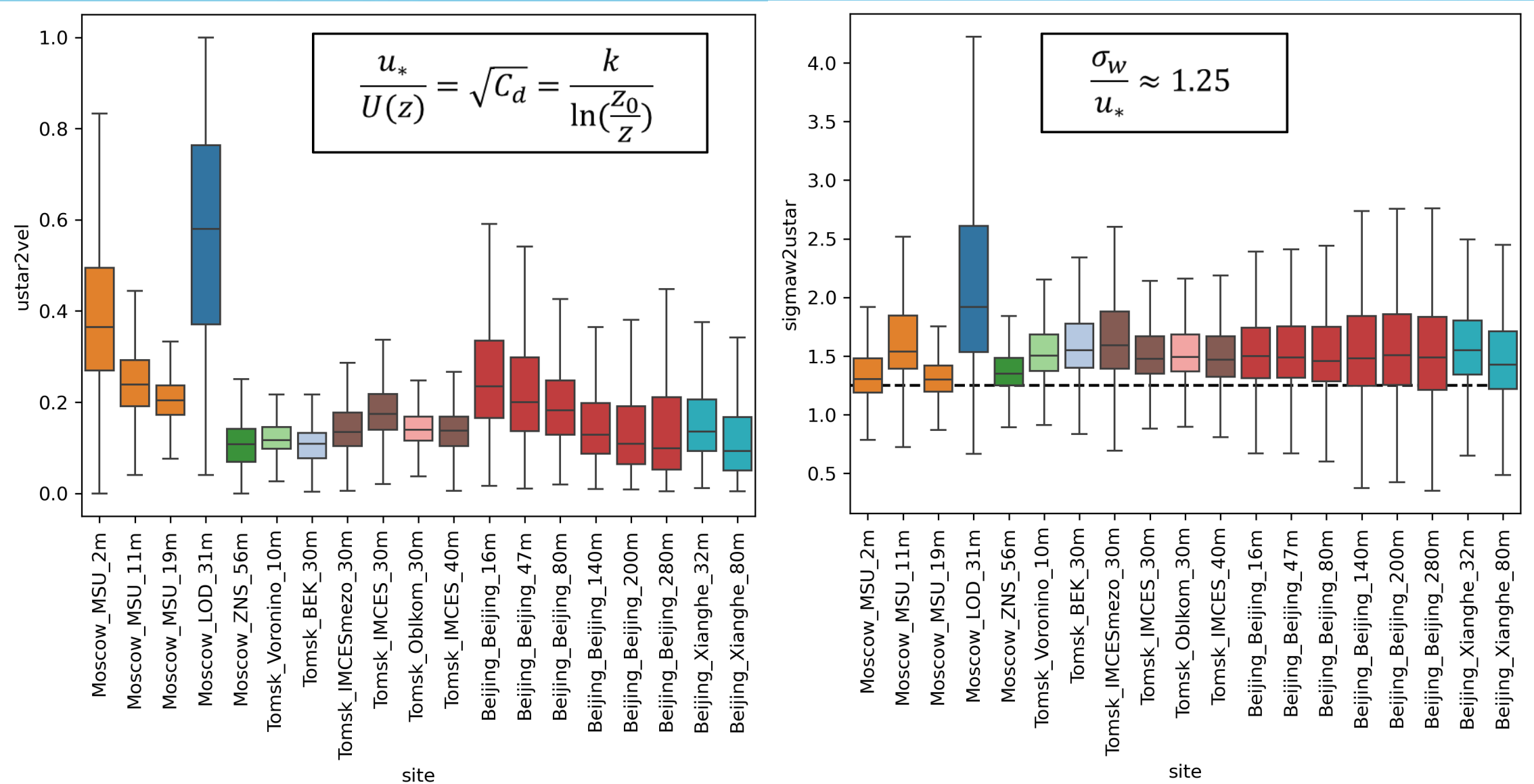
Выбраковка всех сроков с
выбросами по любому из
параметров (Tau, H, LE, Cd)



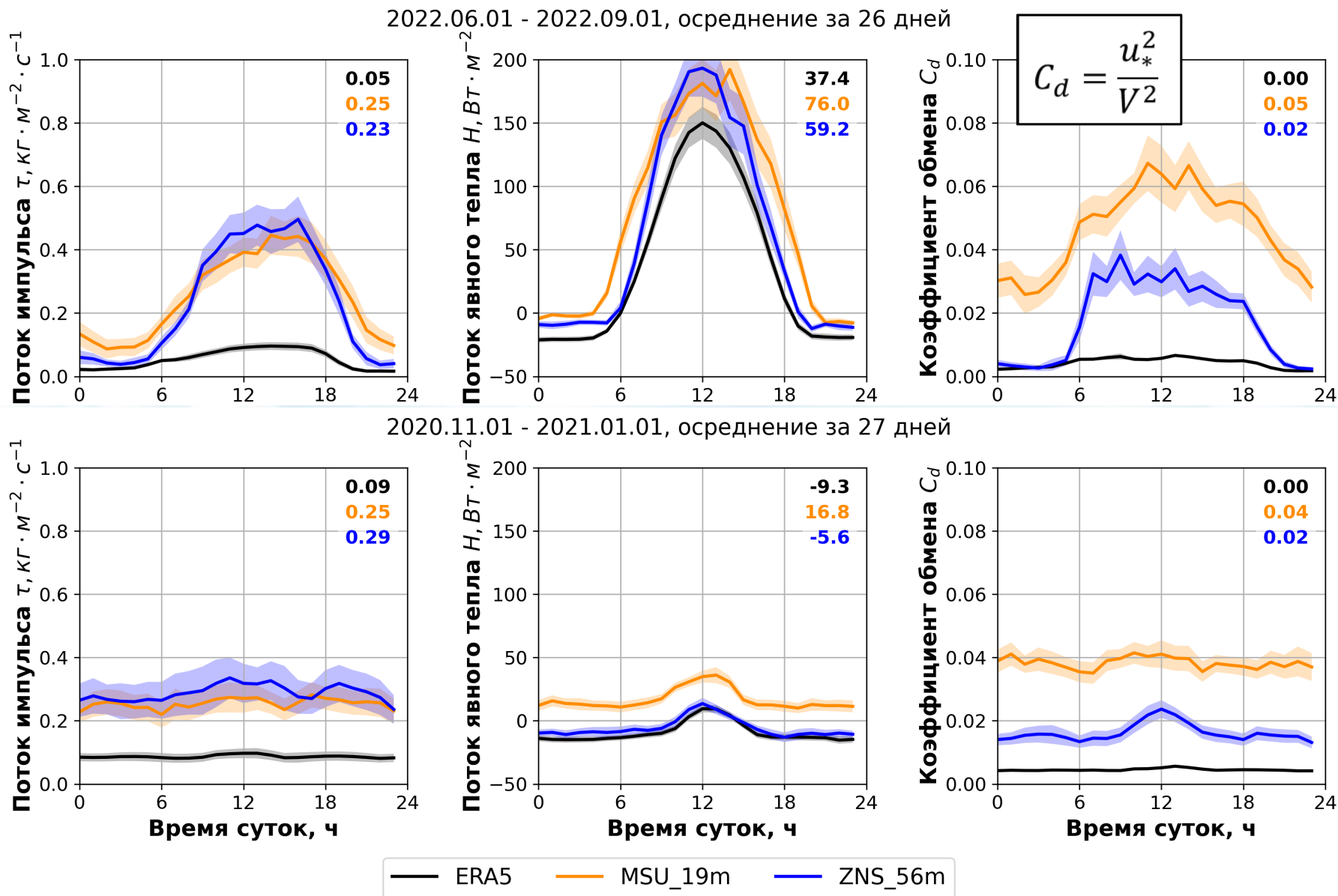
Анализ данных: проверка качества



Анализ данных: проверка качества



Анализ данных: Москва

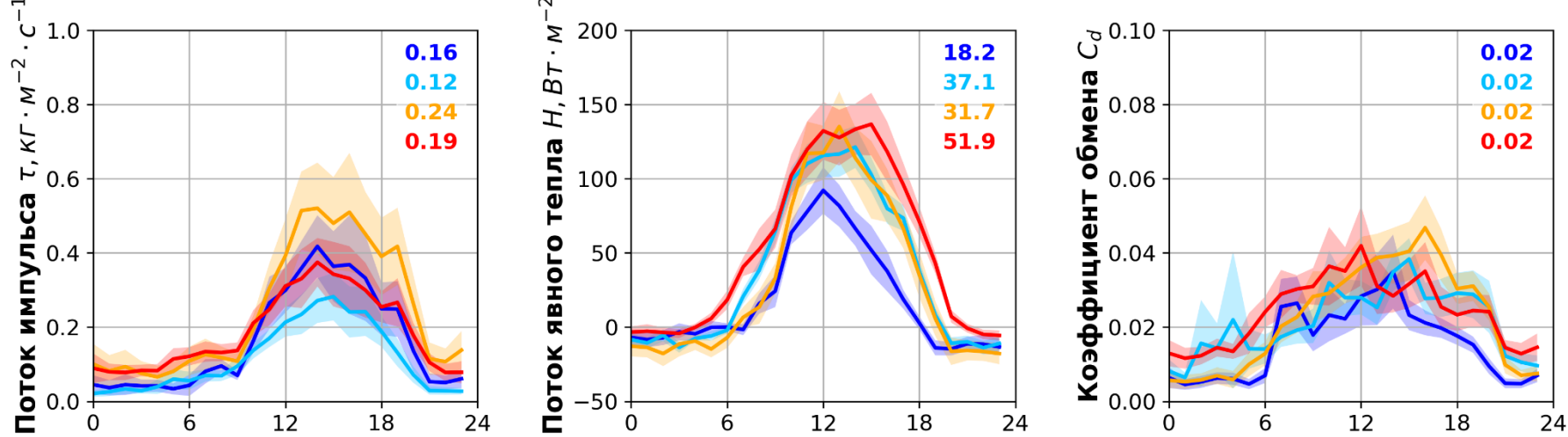


Лето
(июн-авг 2022)

Зима
(ноя – дек 2020)

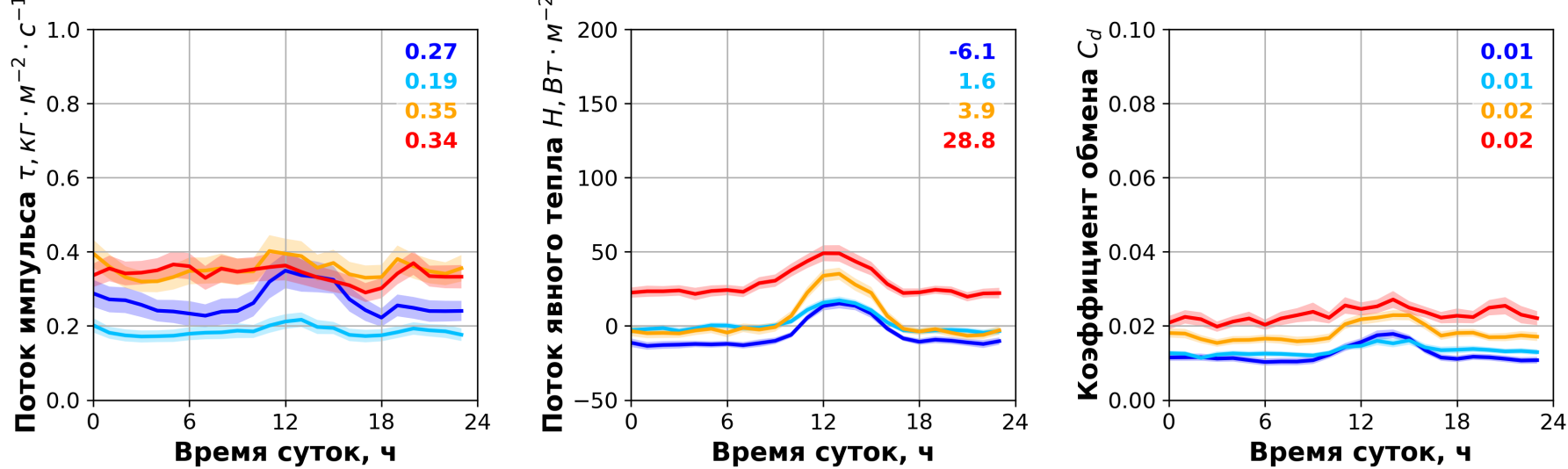
Анализ данных: Томск

2025.06.01 - 2025.07.01, осреднение за 10 дней



Лето
(июнь 2025)

2025.11.01 - 2026.03.01, осреднение за 71 дней

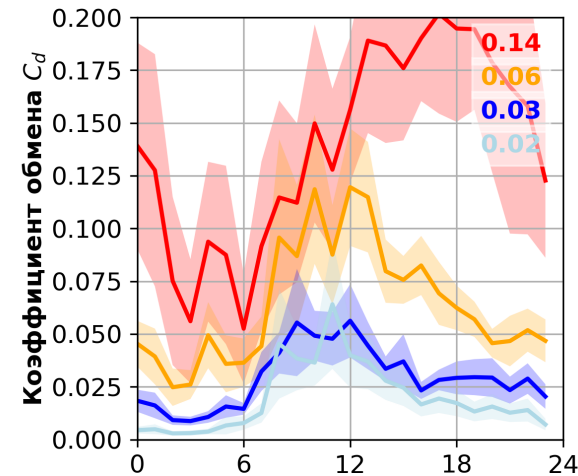
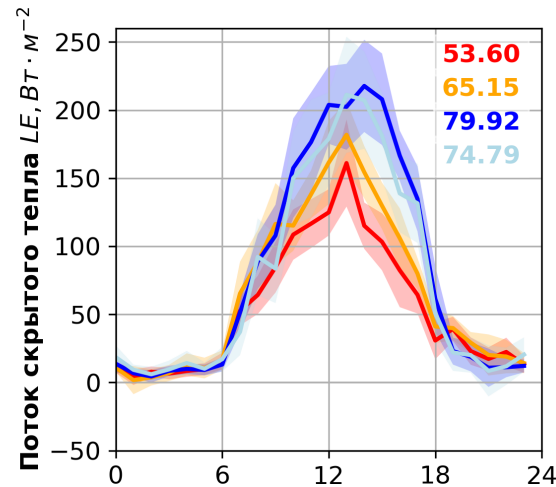
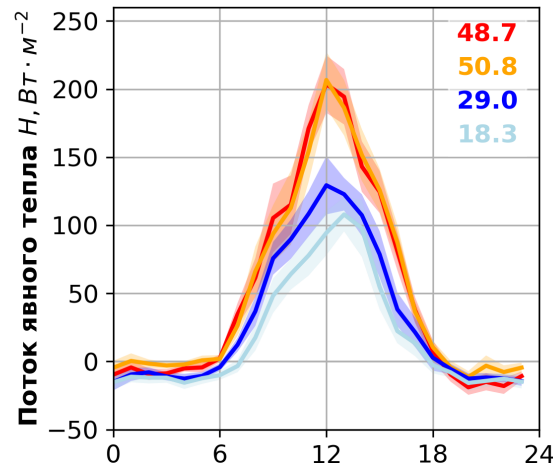
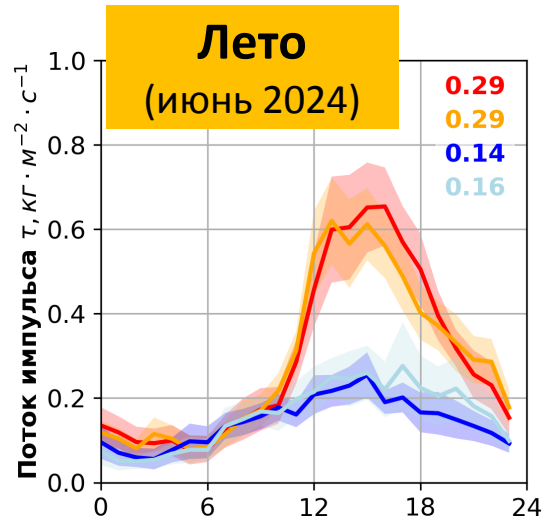


Зима
(ноя 25 – фев 26)

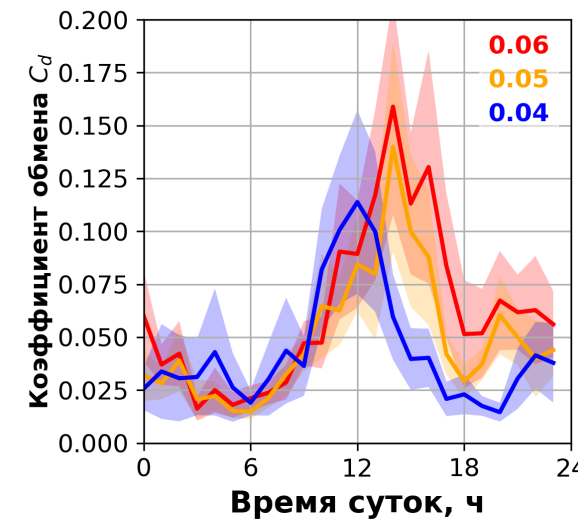
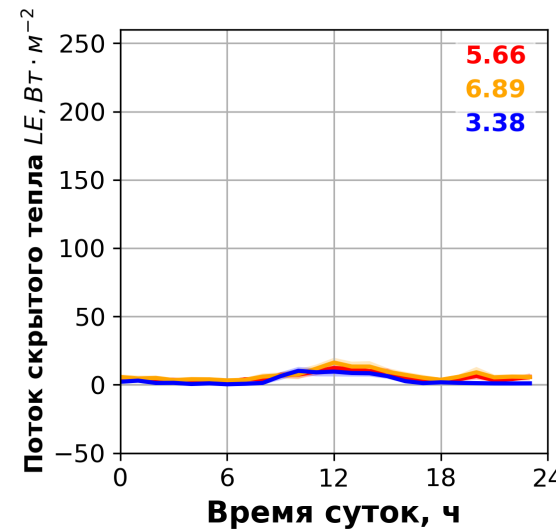
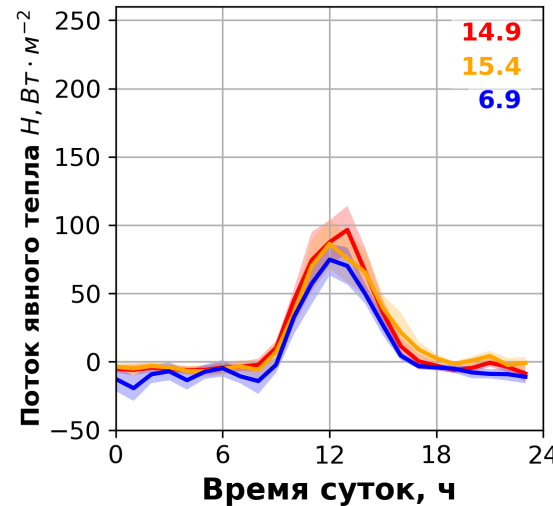
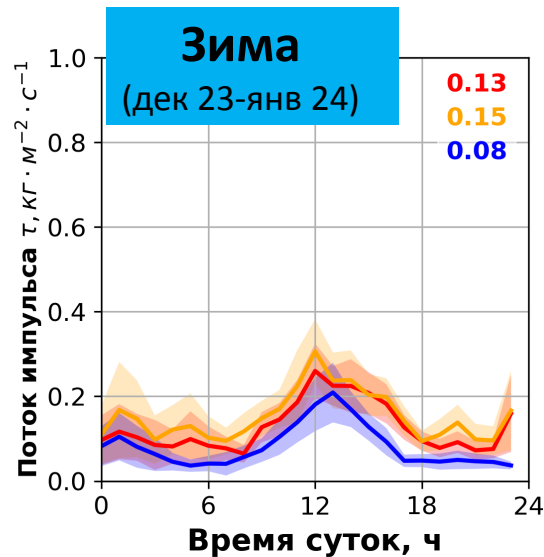
— Фон (БЭК) — Фон (Воронино) — Город (ИМКЭС, 40 м) — Город (Облок)

Анализ данных: Пекин

2024.06.01 - 2024.07.01, осреднение за 14 дней



2023.12.01 - 2024.02.01, осреднение за 18 дней



— Город (47 м) — Город (80 м) — Фон (32 м)

Заключение

- ✓ Подготовлен набор данных наблюдений за характеристиками турбулентного энергообмена поверхности с атмосферой с 9 мачт в 3-х города Северной Евразии (Москва, Томск, Пекин) по стандартам проекта Urban Plumber.
- ✓ Разработана ГИС-технология определения характеристик земельного покрова и застройки в окрестностях мачт на основе данных Overture Maps и машинного обучения.
- ✓ Для всех городов диагностированы характерные различия потоков тепла и импульса над городскими и фоновыми ландшафтами.
- ✓ В Томске зимой среднемесячные значения потока явного тепла достигают $50-75 \text{ Вт/м}^2$ в сравнении с околонулевыми загородными значениями, показывая существенный вклад антропогенного потока тепла.

Перспективы: дополнение набор данных наблюдениями за приходящей коротковолновой и длинноволновой радиацией; верификация моделей городского полога в оффлайн (TEB-Ru, TerM) и онлайн (COSMO, ICON, WRF) режиме.



<https://github.com/mvarentsov/UrbanFluxesNE>

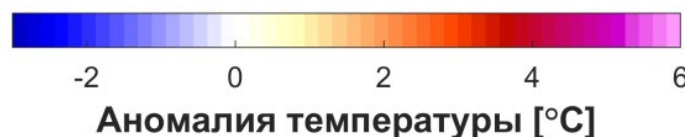
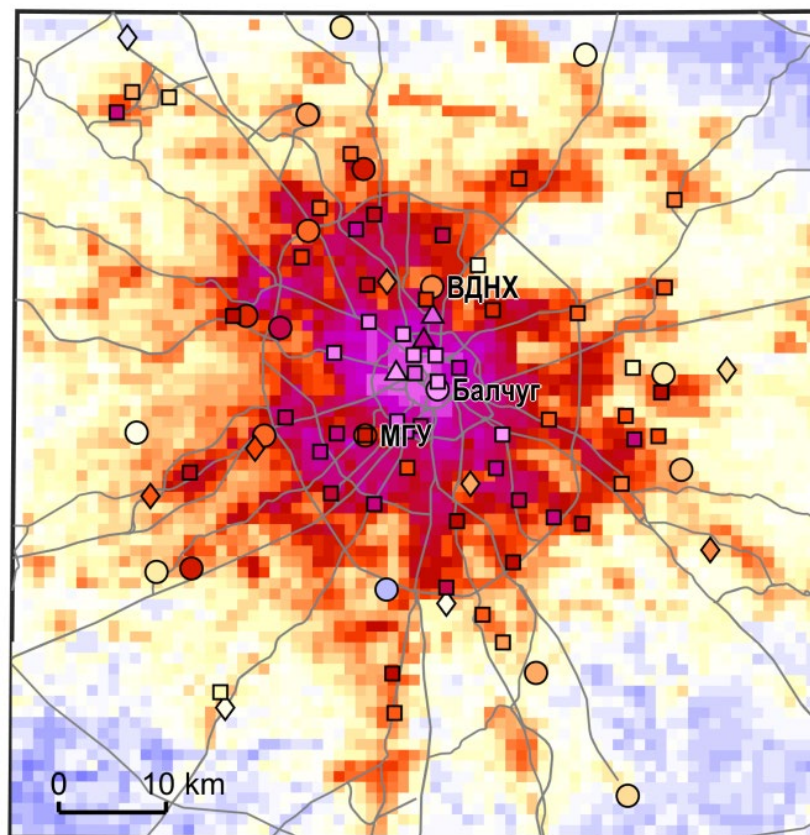


Extra slides



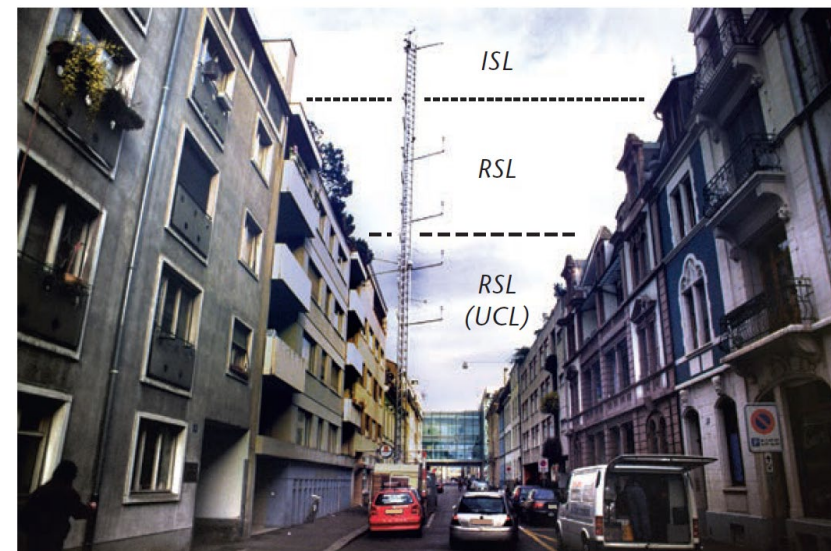
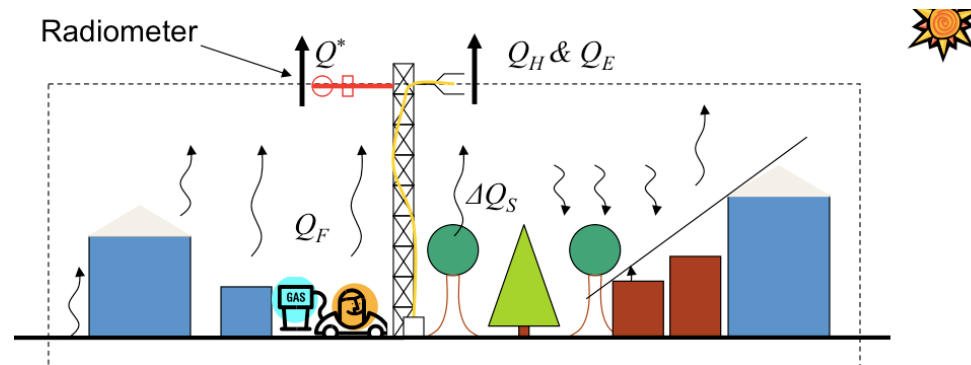
Мотивация: городские параметризации

Верификация совместных моделей по данным метеостанций



(Varentsov et al., 2020; Kuznetsova et al., 2024; Tarasova et al., 2025)

Верификация параметризаций по данным энергобалансовых наблюдений



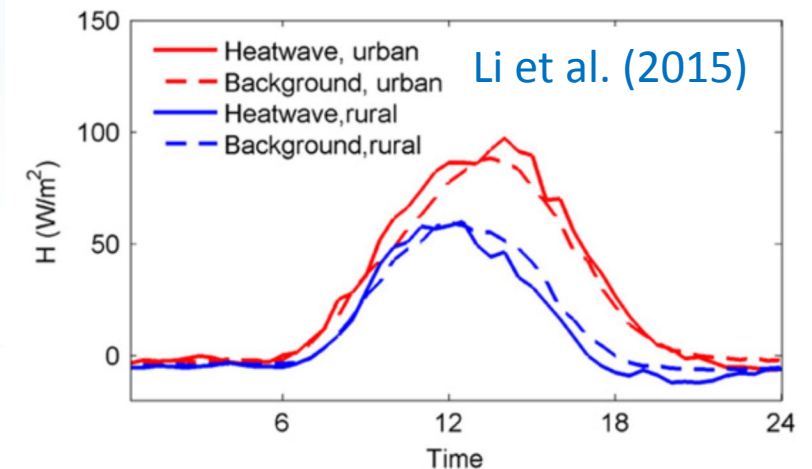
BUBBLE Experiment

(Boundary Layer Measurements in Basel, Rotach et al., 2005)

Data analysis strategy

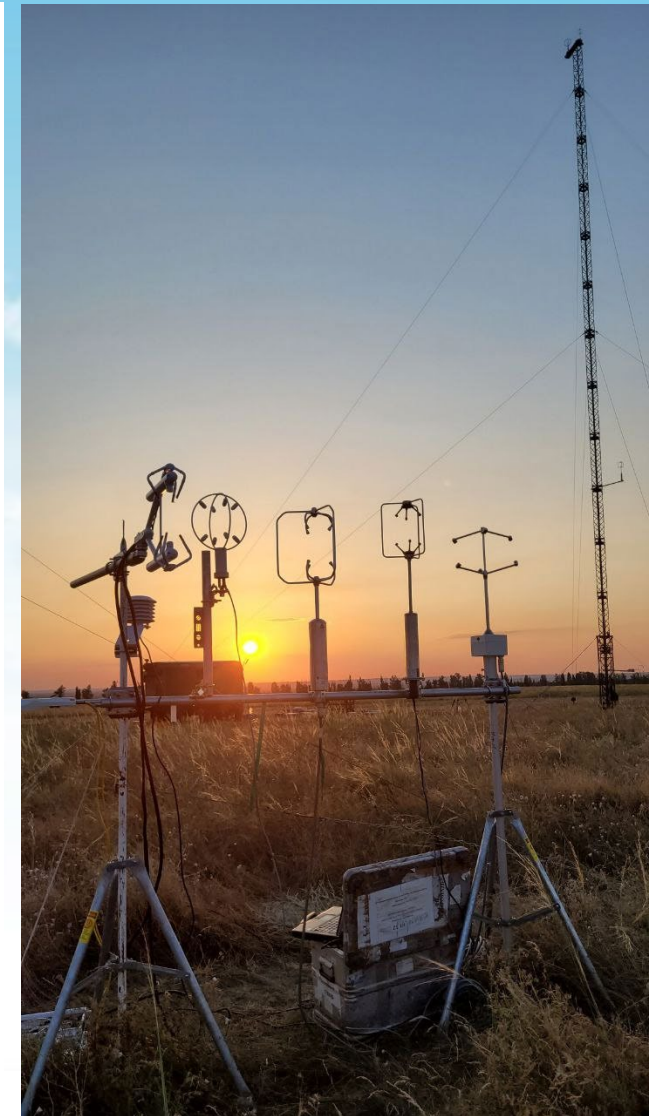
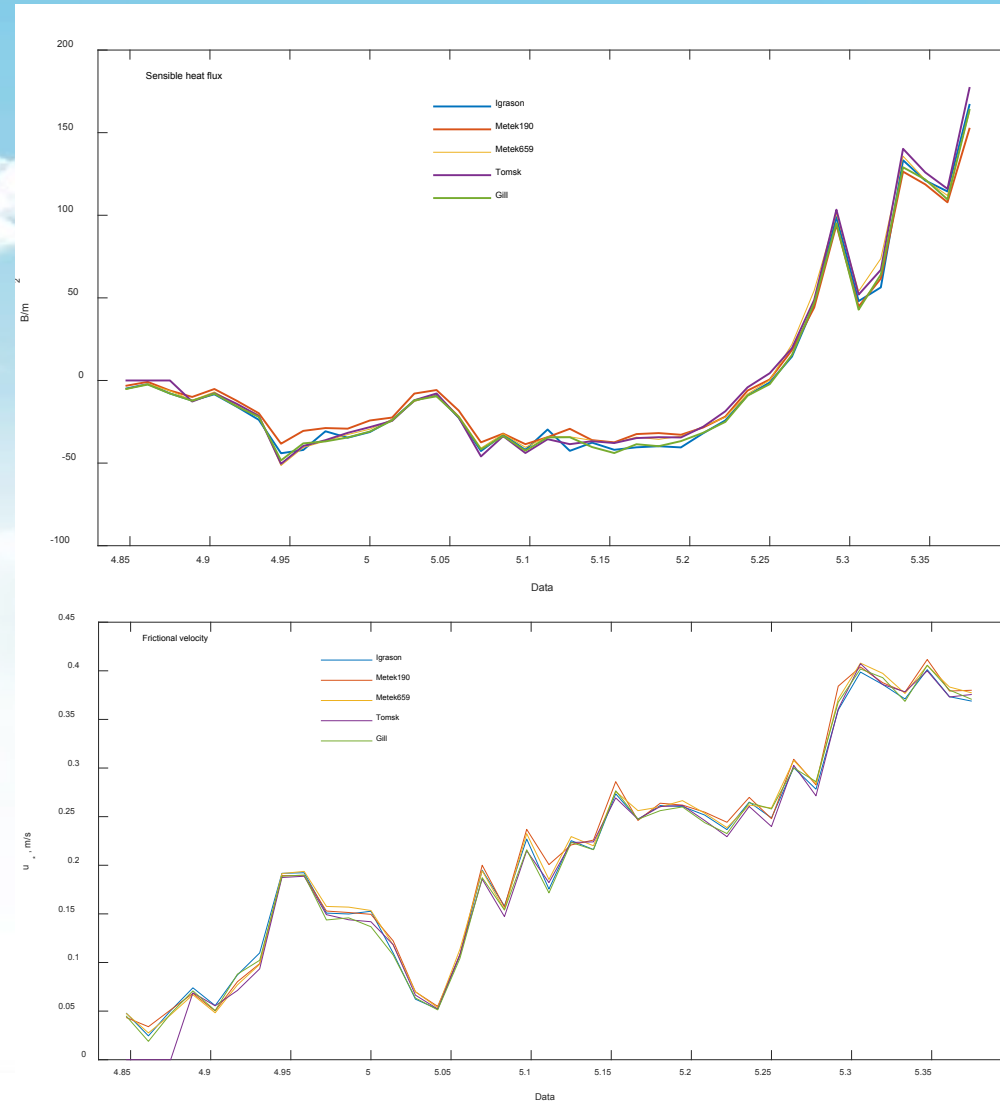
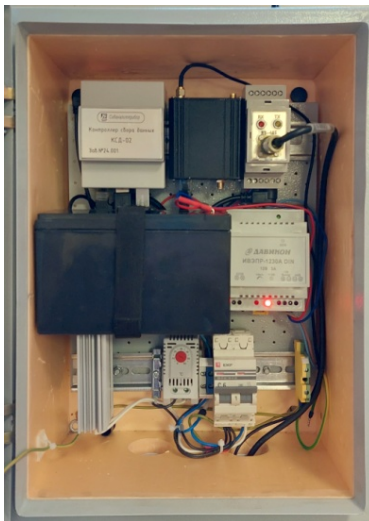


- Quality-control based on ideas from [Lipson et al. \(2022\)](#)
- Focus on the **urban-rural differences of mean diurnal cycles**
- Averaging over days with low fraction of missing data & failed QC for given subsets of sites (< 10% of bad/missing data)

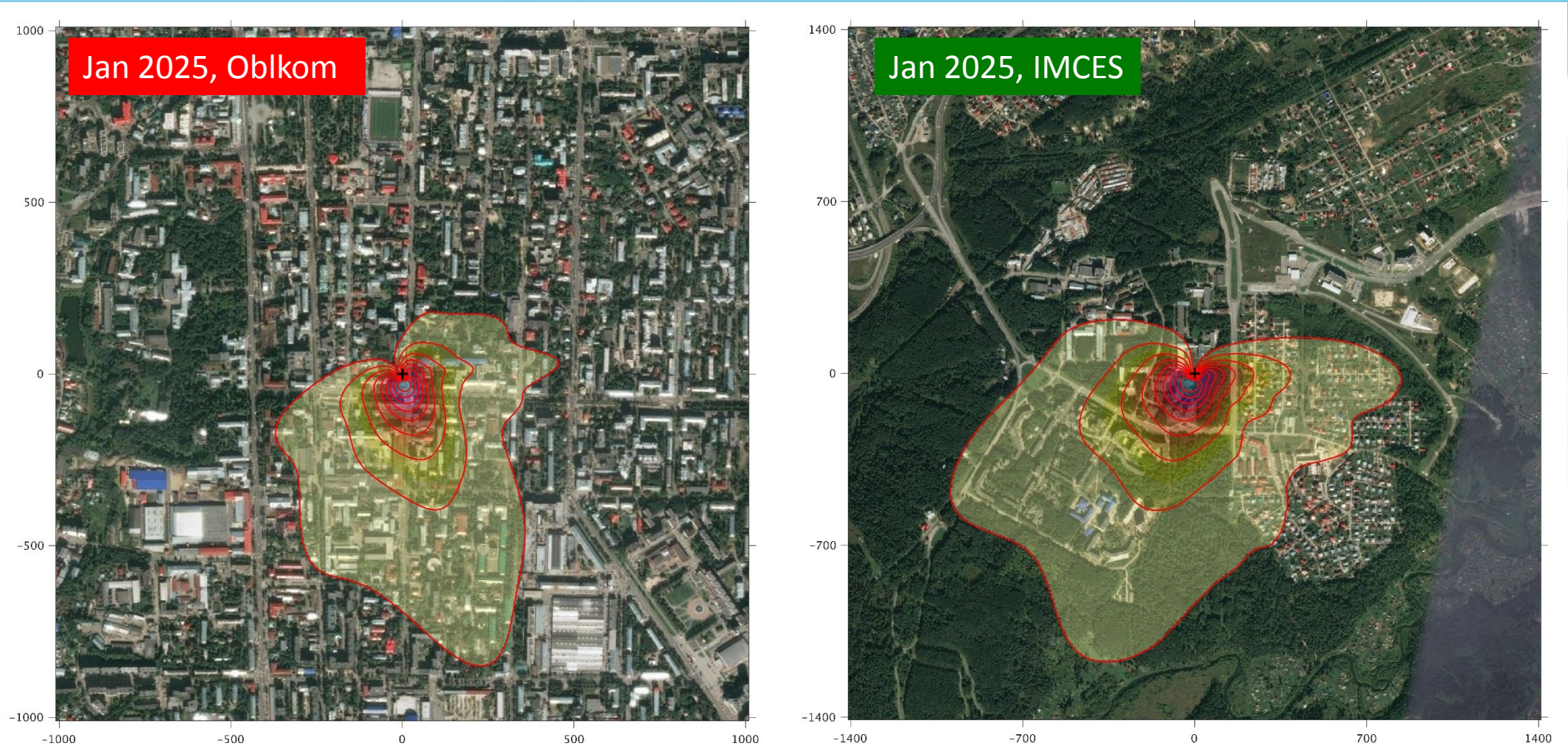


Hardware & software

- 80 Hz sonic anemometers AMK-4 produced by Sibanalitpribor LLC, Tomsk, Russia (www.meteosap.ru)
- Locally-developed hardware & software for data collection, storage and eddy-covariance calculations
- Numerous turbulent moments for analysis: H , τ , TKE , L , u^* , uv , uw , vw , wt , ut , vt , uu , vv , uut , vvt , wwt , utt , vtt , wtt , uvt , uwt , vwt , wuu , wvv , uuu , vvv , www , ttt , $wuvw$, etc.



What are the source areas?



Kljun et al. (2015, GMD). A simple two-dimensional parameterisation for Flux Footprint Prediction (FFP)