

Мониторинг турбулентного энергообмена городских ландшафтов с атмосферой в Северной Евразии: первые результаты

Варенцов М. И.^{1,2,3}, Тельминов А.Е.⁴, Кобзев А.А.⁴, Дрозд И.Д.², Пашкин А.Д.², Гавриков А.В.⁵, Артамонов А.Ю.², Репина И.А.^{2,1}, Степаненко В.М.^{1,2}, Джоу Л.⁶

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский вычислительный центр

² Институт физики атмосферы имени А.В. Обухова РАН

³ Гидрометцентр России

⁴ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

⁵ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

⁶ Институт физики атмосферы Китайской академии наук, Пекин, КНР

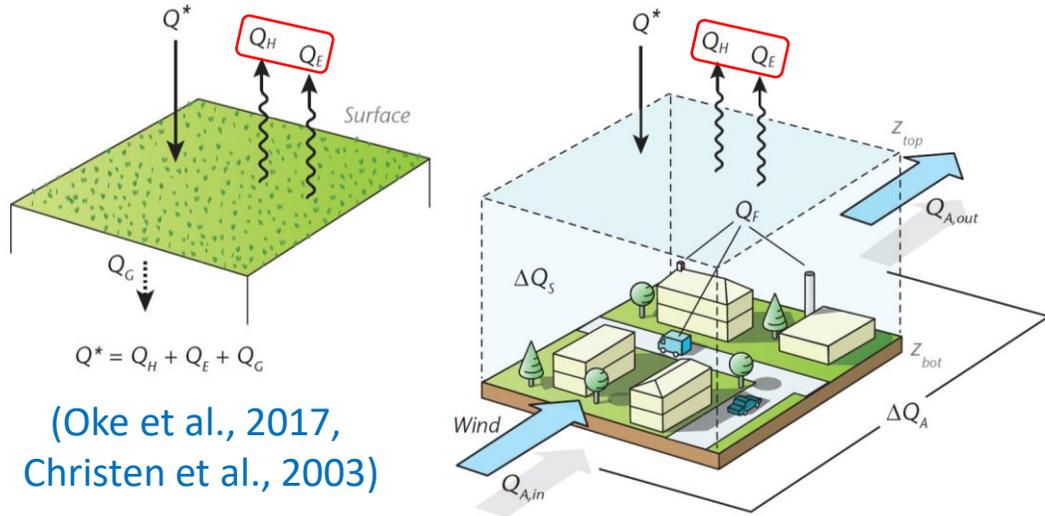
[*mikhail.varentsov@srcc.msu.ru](mailto:mikhail.varentsov@srcc.msu.ru)

Исследование ведется
при поддержке РФФ,
проект №24-17-00155

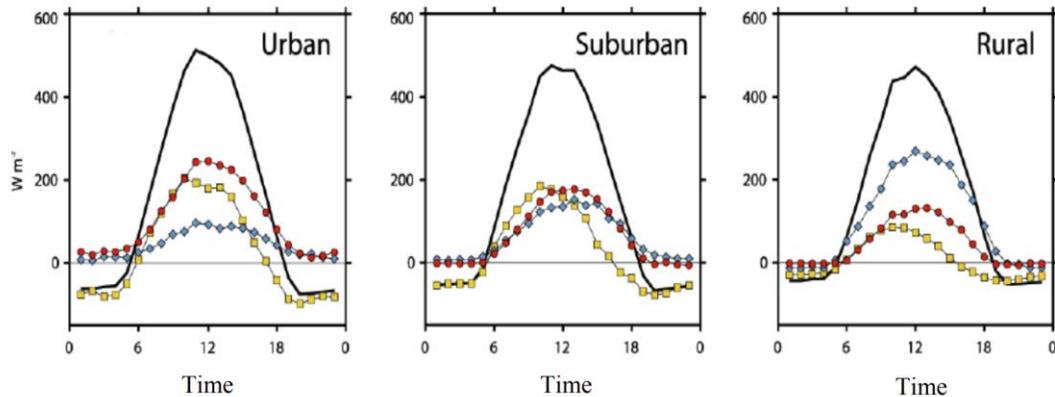


Мотивация: влияние городов на погоду и климат

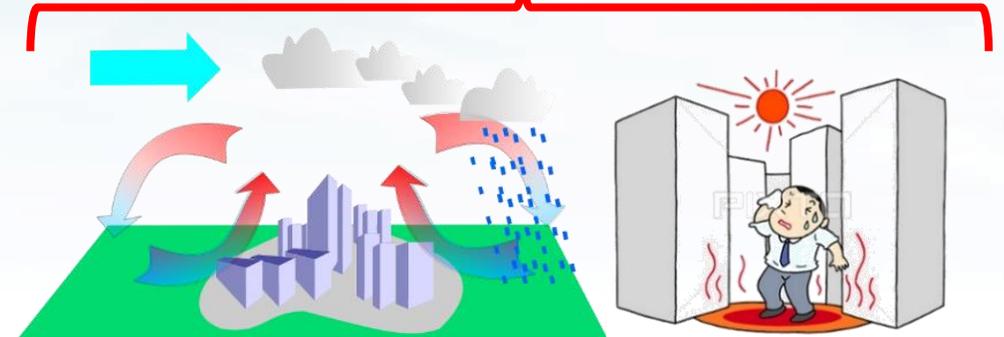
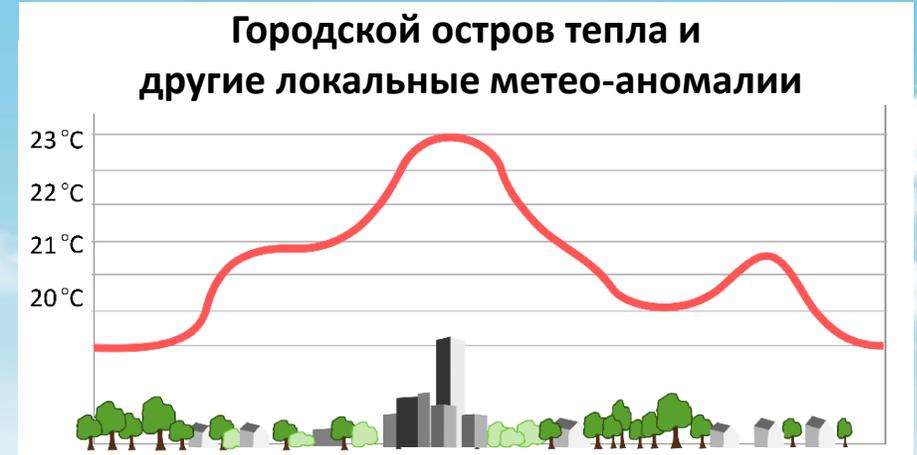
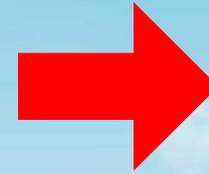
Влияние свойств поверхности на тепловой баланс и турбулентный энергообмен с атмосферой



(Oke et al., 2017,
Christen et al., 2003)



■: the thermal storage of urban canyon (ΔQ_s) ●: sensible heat flux (Q_H)
◆: the latent heat flux (Q_E) —: Q^* the surface net radiant flux density (—)



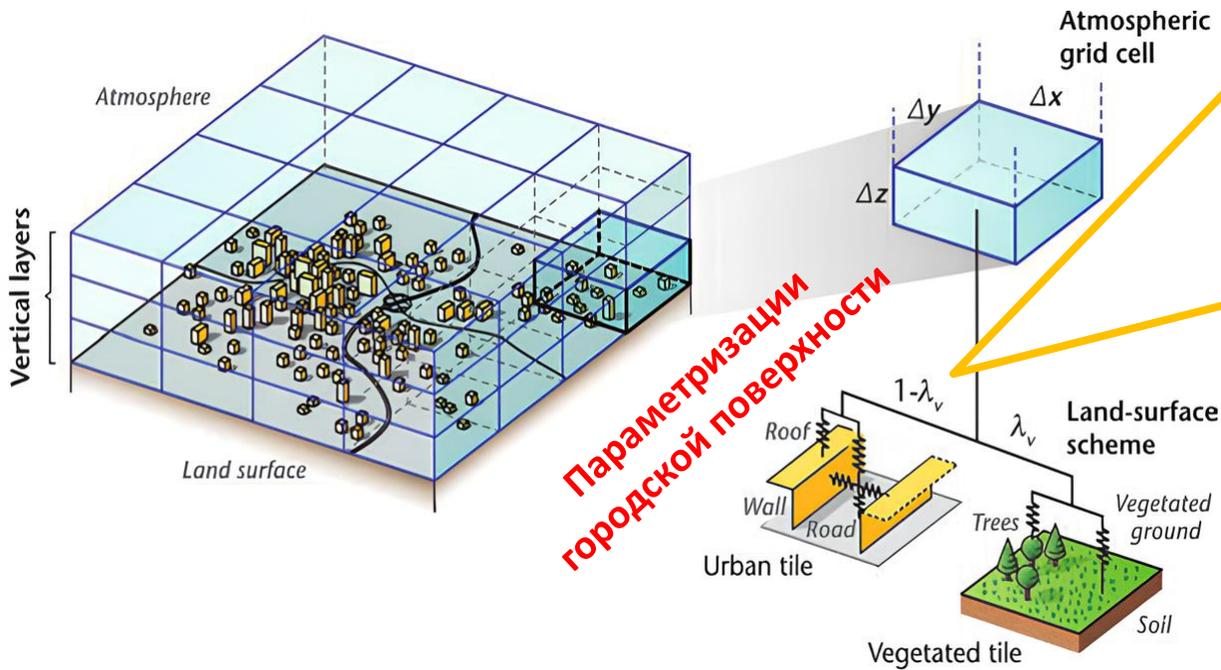
Влияние на
облачность, осадки,
опасные явления

Влияние на
термический комфорт
населения

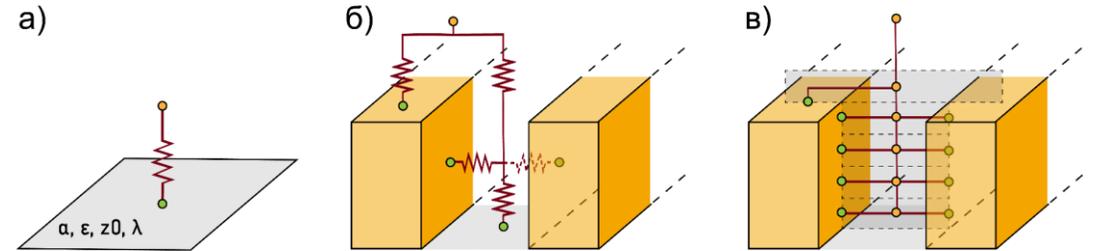
Мотивация: городские параметризации

Мезомасштабные модели

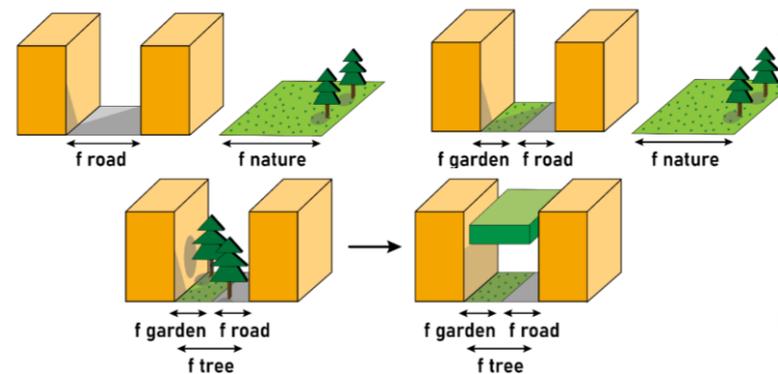
(шаг сетки: первые сотни метров – километры)



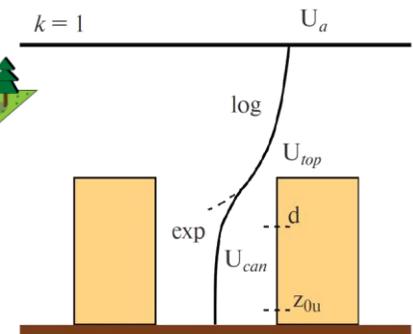
Подходы к описанию городской застройки



Подходы к описанию городской растительности



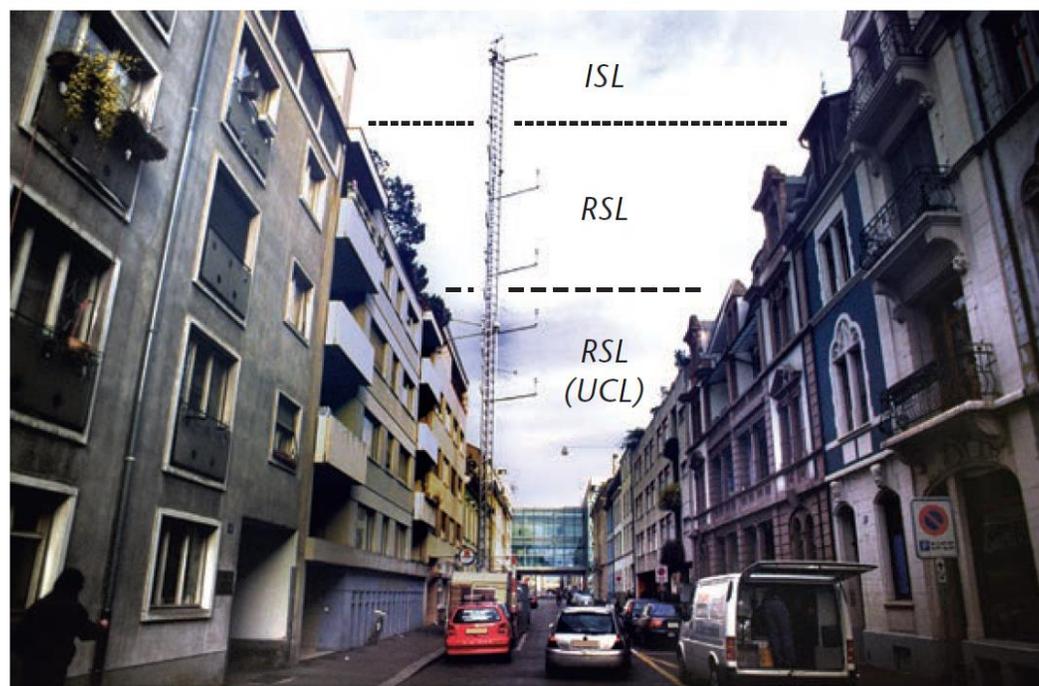
Параметризация ветра в застройке



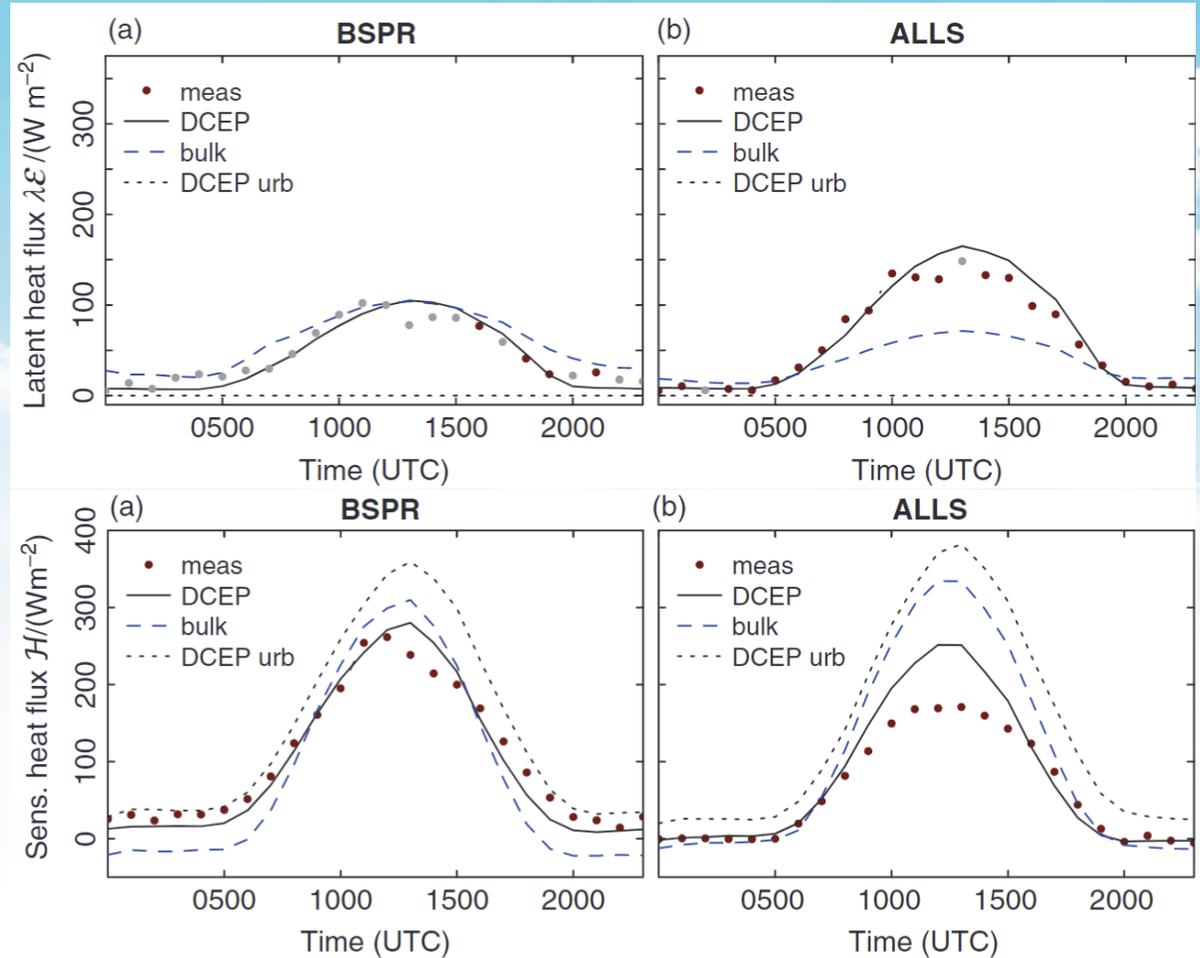
Тарасова и др. (2023, ФАО) Параметризации взаимодействия атмосферы с городской поверхностью: обзор и перспективы развития.



Мотивация: верификация параметризаций



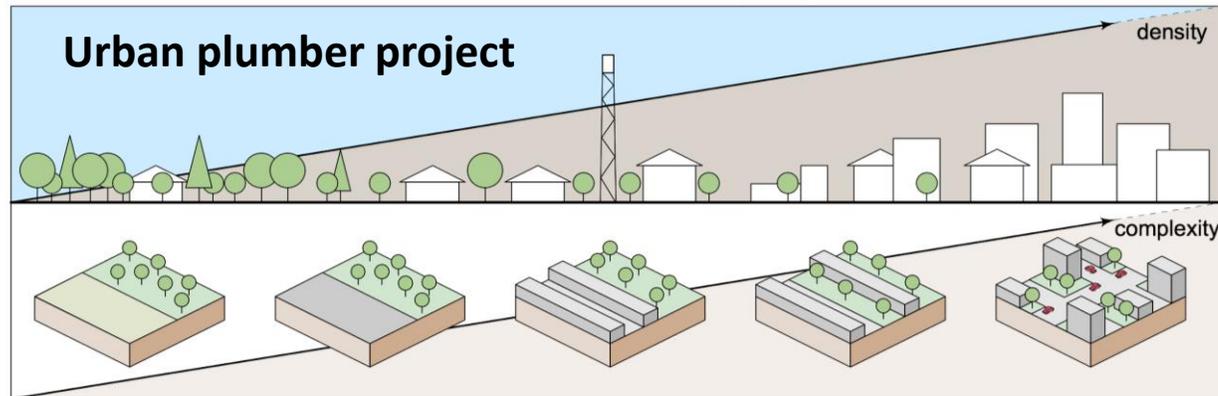
Эксперимент BUBBLE
(Boundary Layer Measurements in Basel)



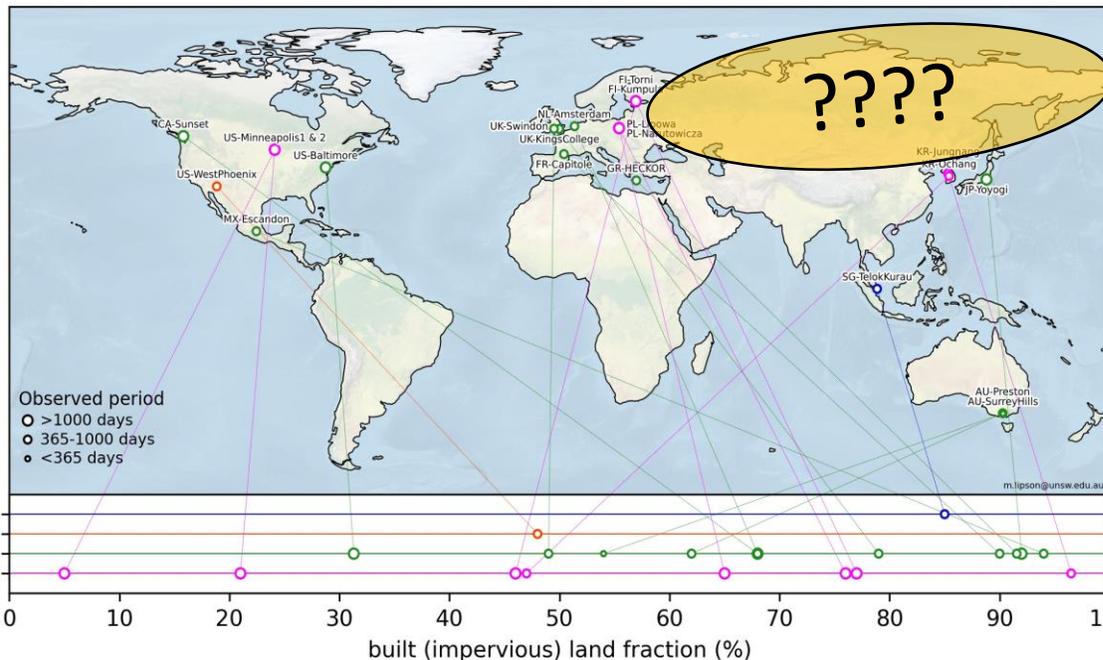
Rotach et al. (2005). BUBBLE - An urban boundary layer meteorology project.

Schubert & Grossman-Clarke (2014, QJRMS). Evaluation of the coupled COSMO-CLM/DCEP model with observations from BUBBLE.

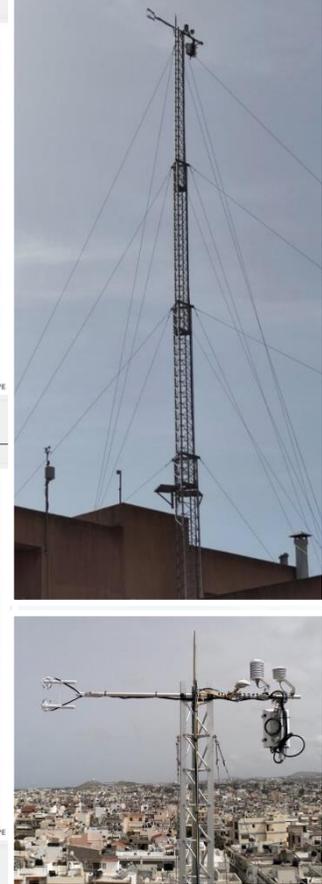
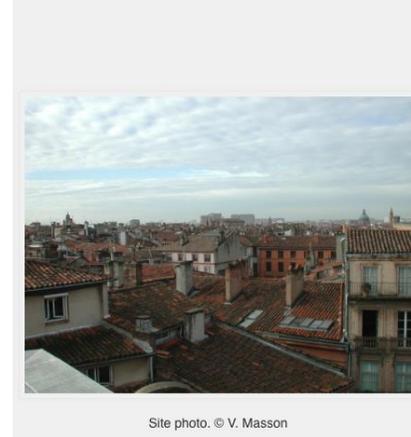
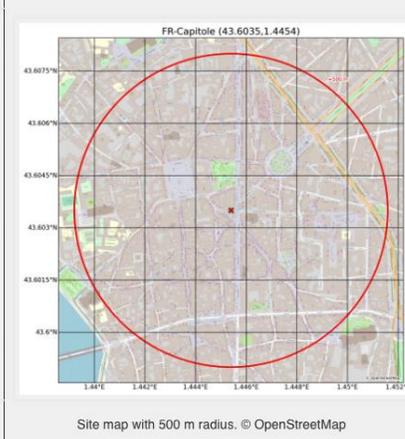
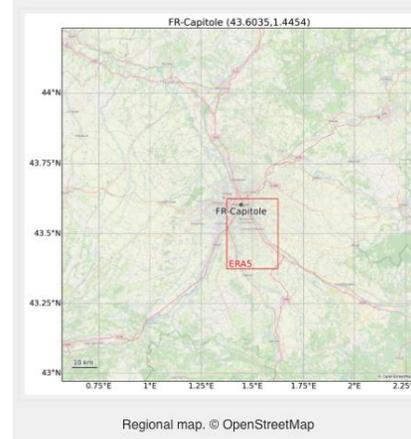
Мотивация: верификация параметризаций



Urban-PLUMBER sites



20 sites; 50 years of data: <https://urban-plumber.github.io/sites>



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.

Jongen et al (2024, JAMES). The Water Balance Representation in Urban-PLUMBER Land Surface Models

Мотивация: карбоновые полигоны?

Планируемые в рамках пилотного проекта полигоны при организациях Минобрнауки России



В национальной сети карбоновых полигонов нет ни одной городской точки измерений :(



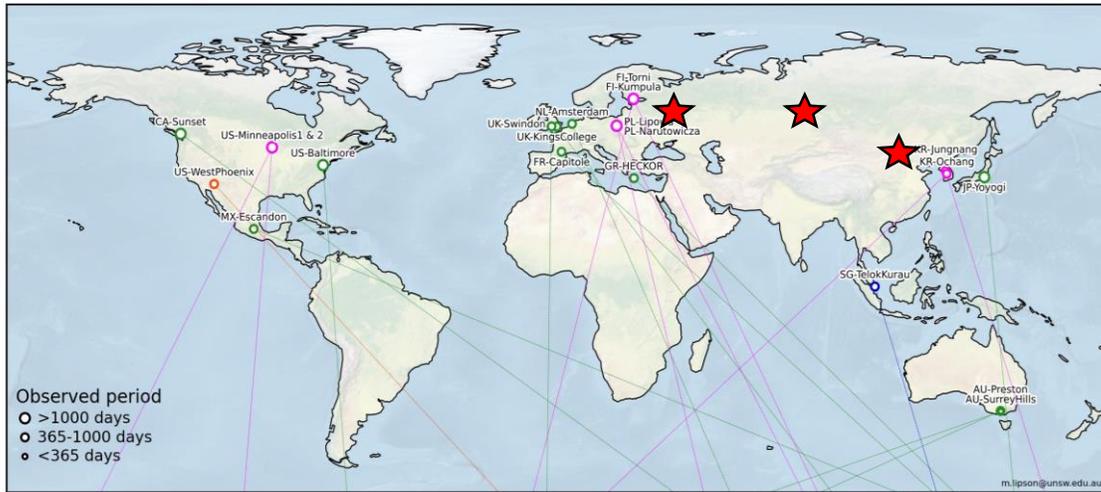
Постановка задачи

Цель исследования - систематизация и первичный анализ доступных наблюдений за турбулентным энергообменом городских ландшафтов с атмосферой в Северной Евразии (для Москвы, Томска и Пекина)

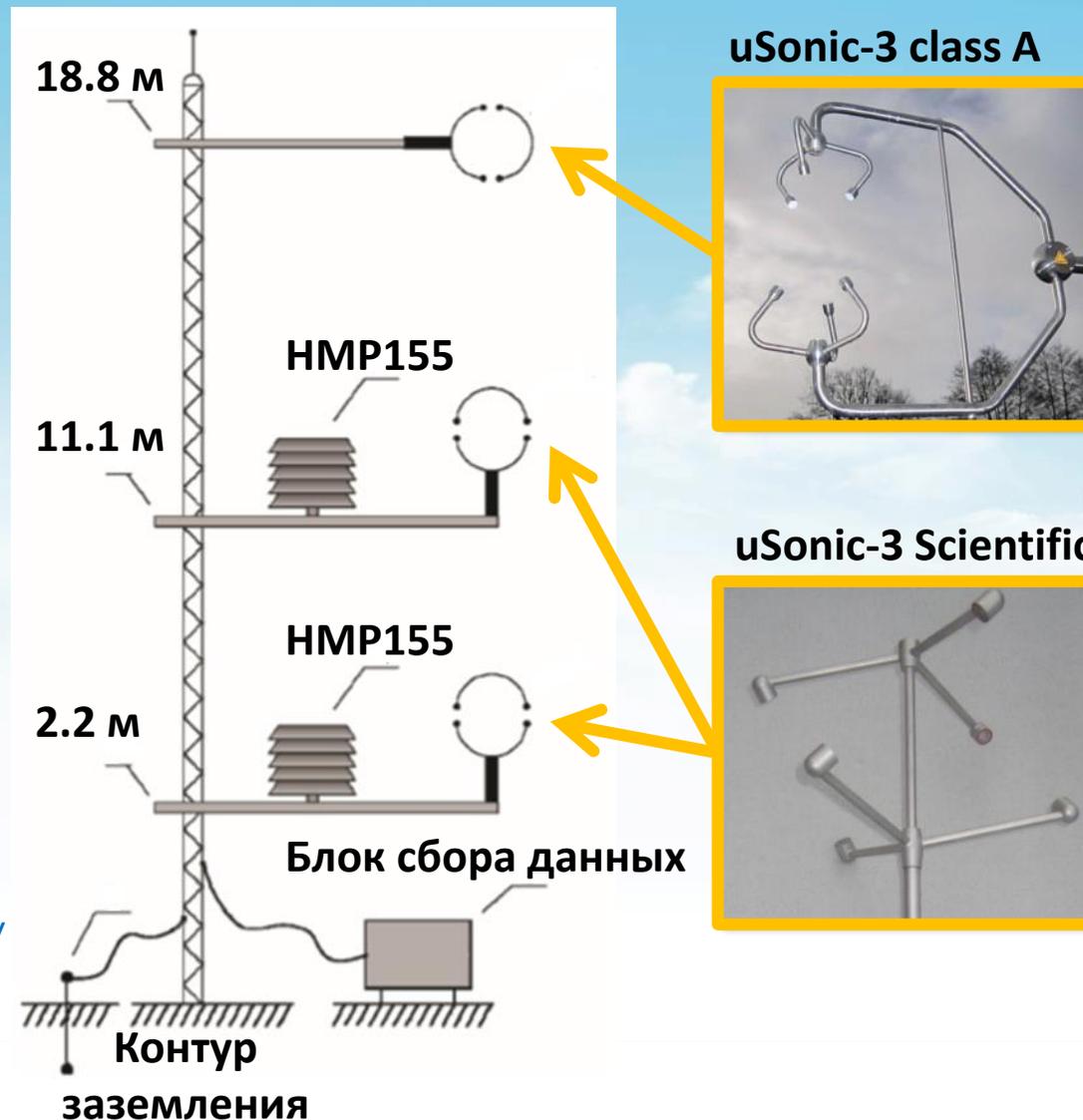
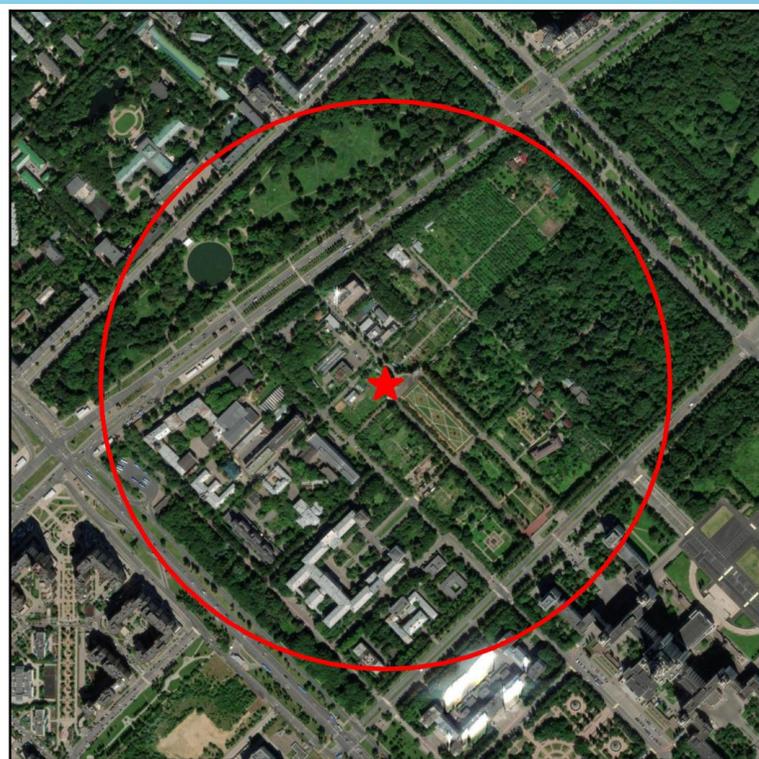
Задачи:

- Сбор и систематизация имеющихся данных
- Приведение к единому формату
- Первичный «квазиклиматологический» анализ потоков тепла и импульса

Urban-PLUMBER sites



Метеорологическая мачта в МГУ



Обработаны данные с **ноября 2019** по **май 2023**

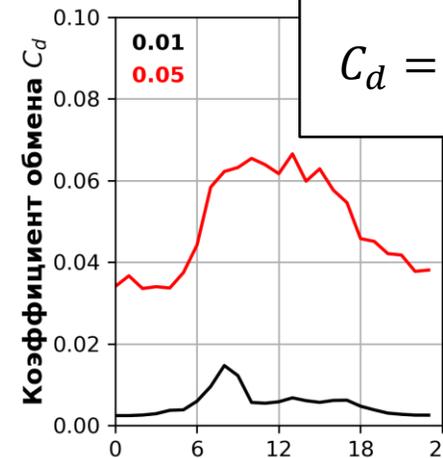
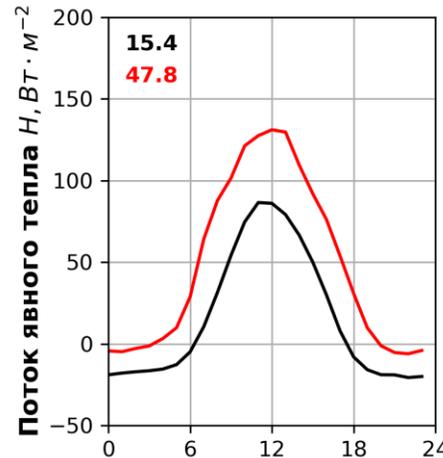
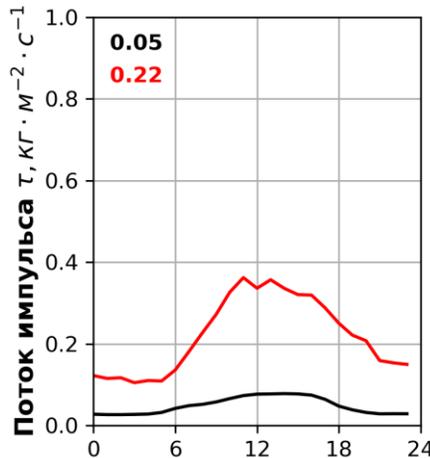
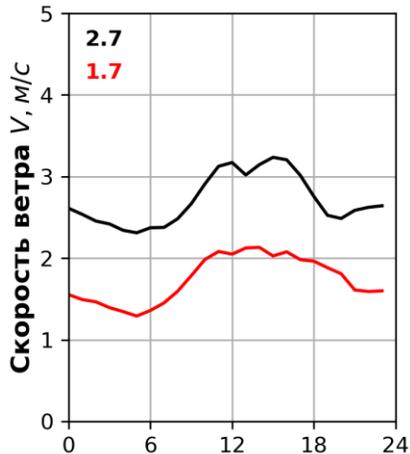
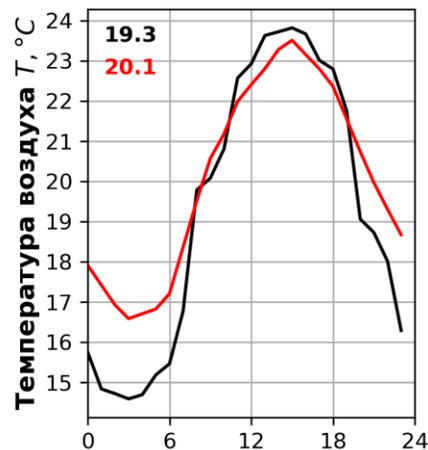
[Артамонов и др. \(2018, сборник\)](#). Микрометеорологическая мачта в МО МГУ
[Barskov et al. \(2023, BLM\)](#). Relationships Between Second and Third Moments ...over Grassland and Urban Landscapes

[Дрозд и др. \(2023, ФАО\)](#). Соотношение вторых и третьих турбулентных моментов ... на примере данных микрометеорологической мачты МГУ

Метеорологическая мачта в МГУ

Лето

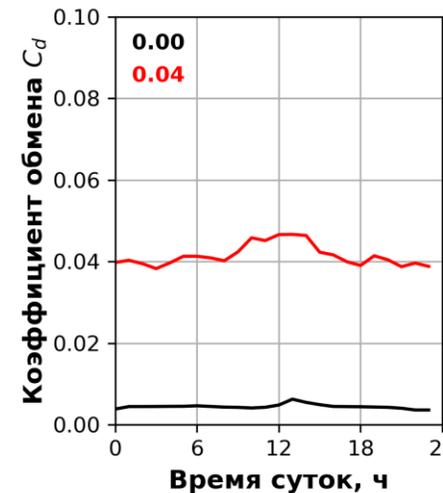
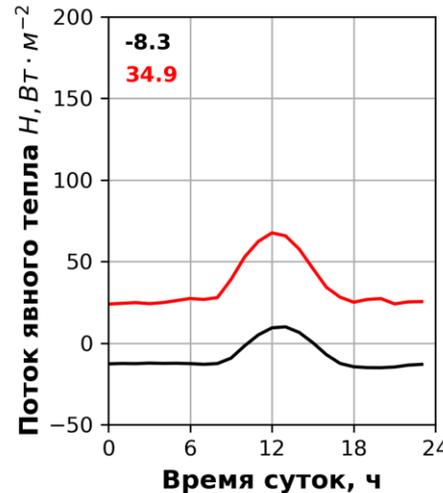
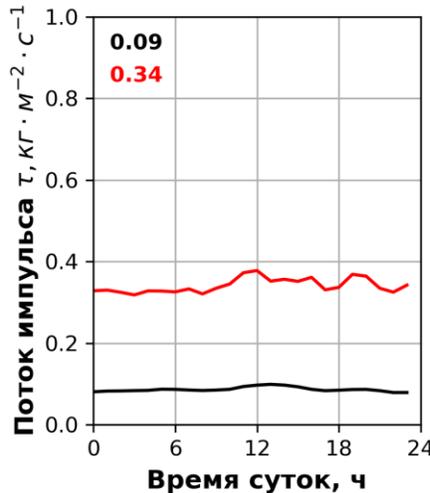
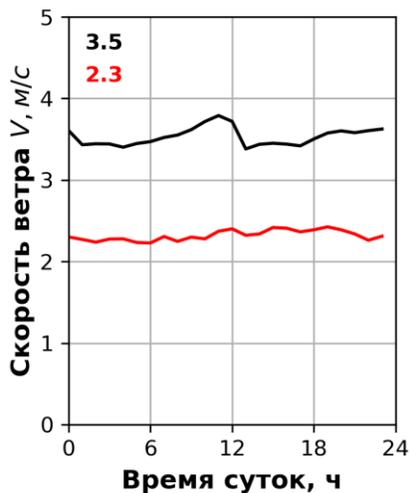
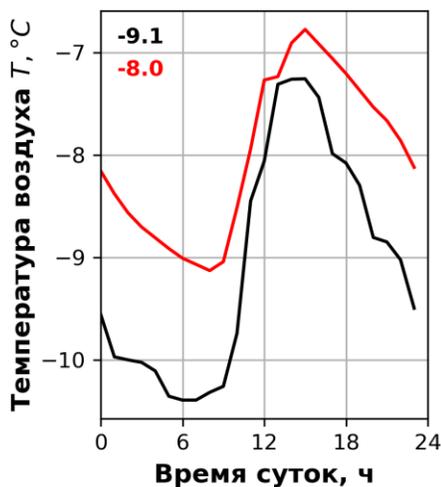
2021.06.01 - 2021.09.01, осреднение за 60 дней



$$C_d = \frac{u_*^2}{V^2}$$

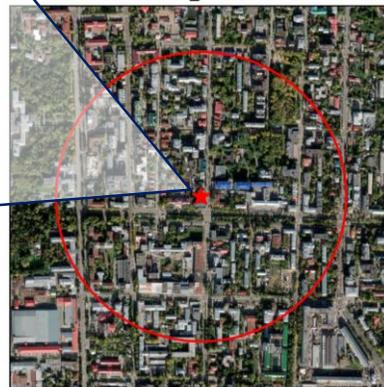
Зима

2021.01.01 - 2021.03.01, осреднение за 59 дней



— ERA5 — MSU_19m

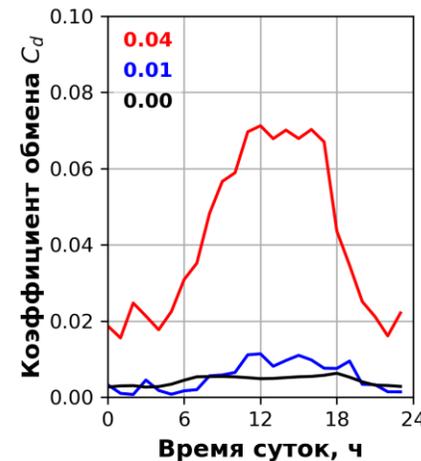
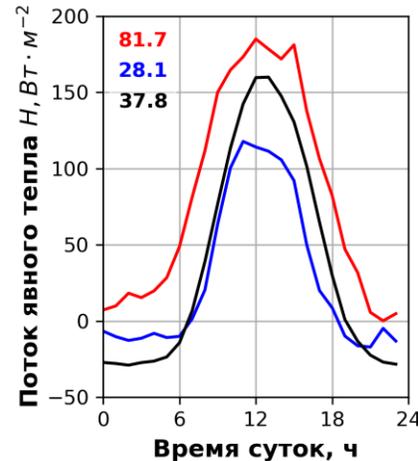
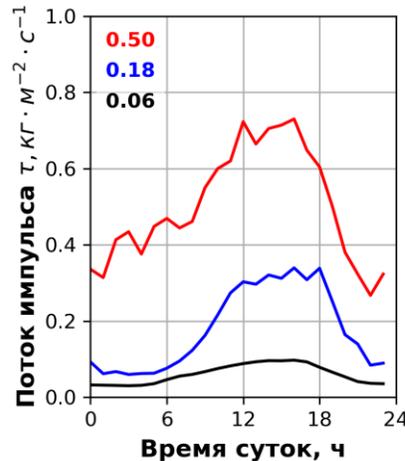
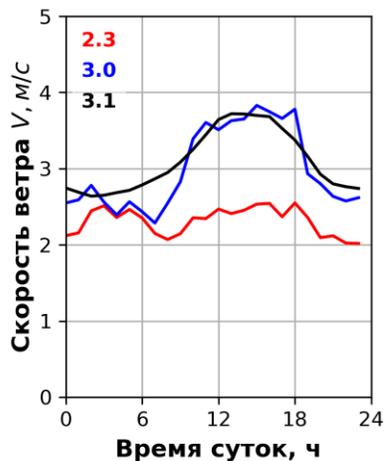
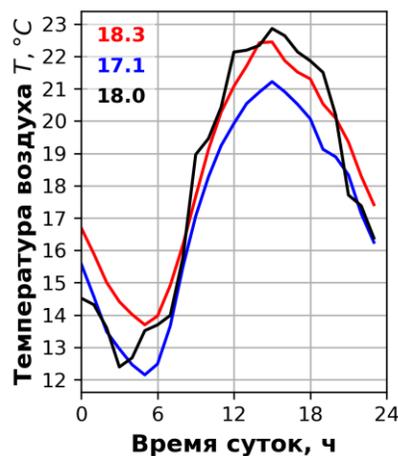
Сеть TomskFluxNet в Томске



Сеть TomskFluxNet в Томске

Лето

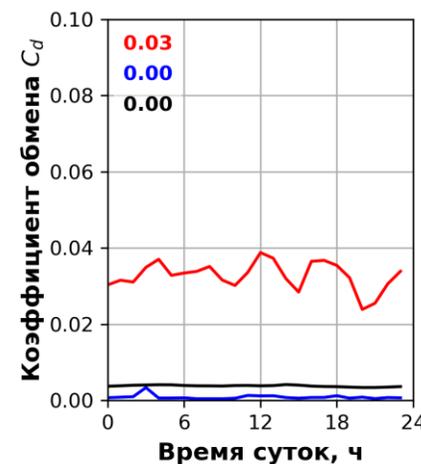
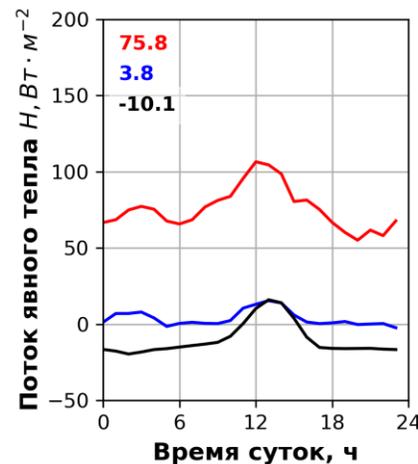
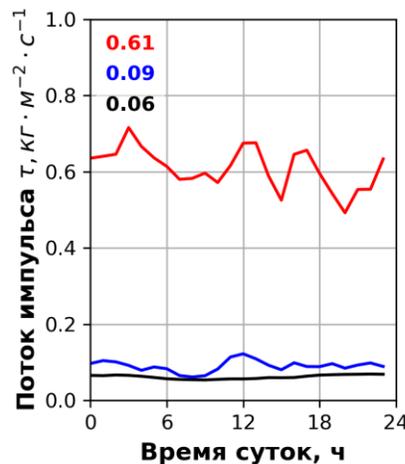
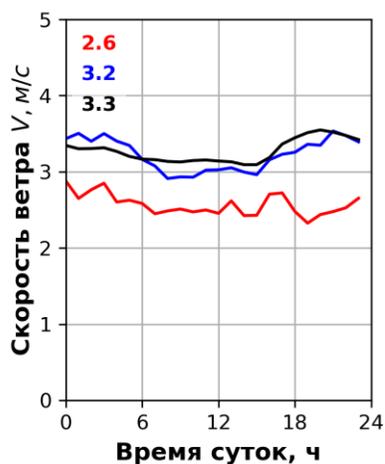
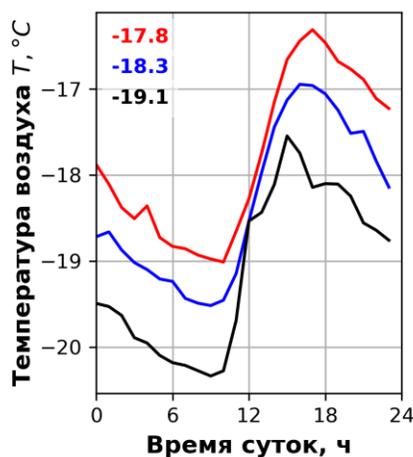
2023.06.01 - 2023.07.01, осреднение за 27 дней



— Город (Облкомприроды) — Фон (БЭК) — ERA5

2022.12.01 - 2023.01.01, осреднение за 19 дней

Зима

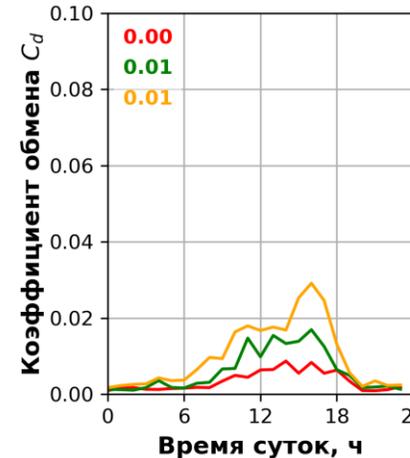
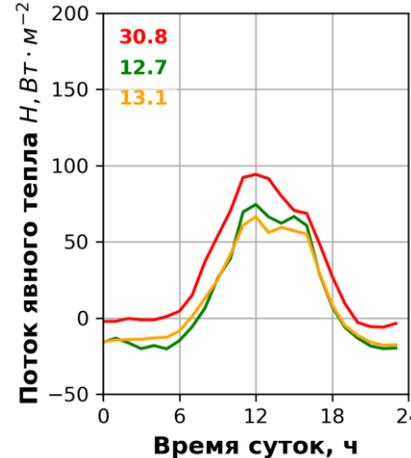
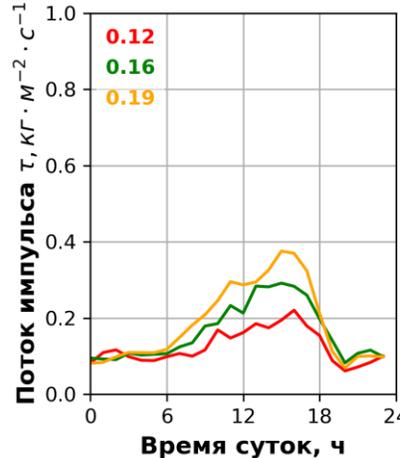
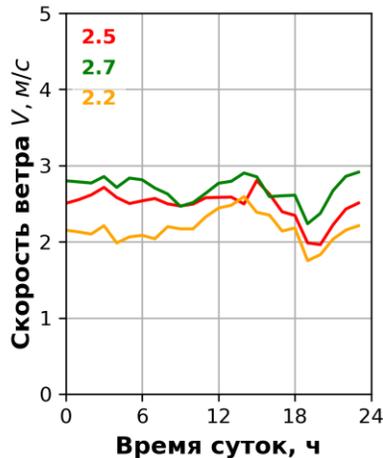
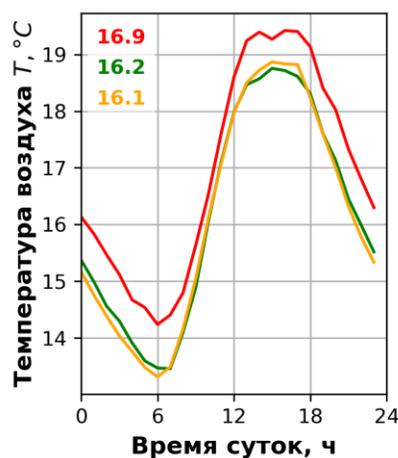


— Город (Облкомприроды) — Фон (БЭК) — ERA5

Сеть TomskFluxNet в Томске

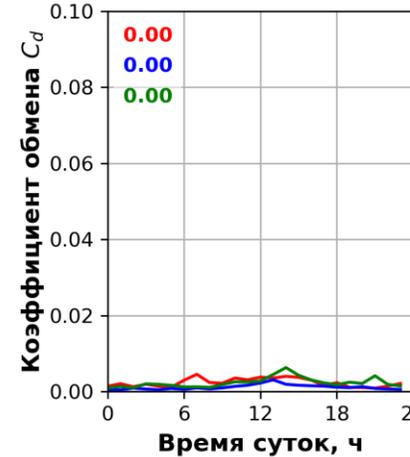
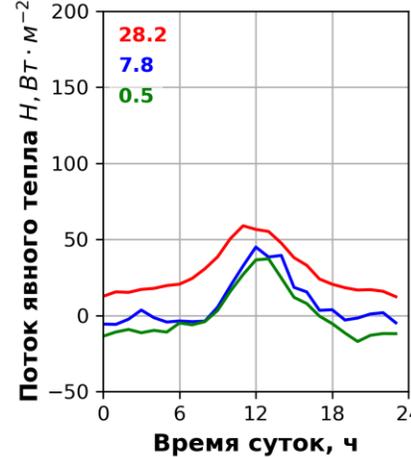
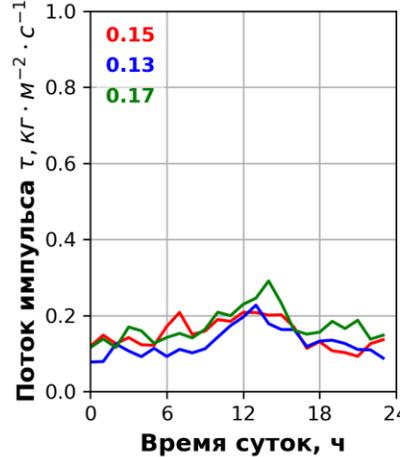
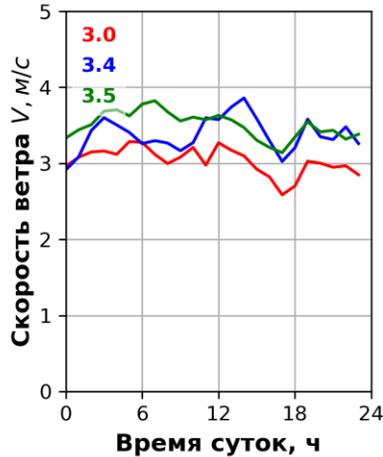
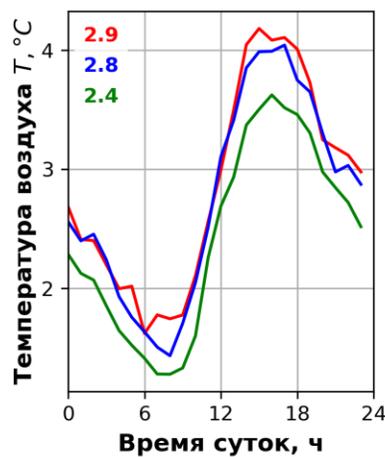
Лето

2024.08.01 - 2024.09.01, осреднение за 24 дней



— Город (Облкомприроды) — Город (ИМКЭС, 40 м) — Город (ИМКЭС, мезонин, 30 м)

2024.10.01 - 2024.11.01, осреднение за 11 дней

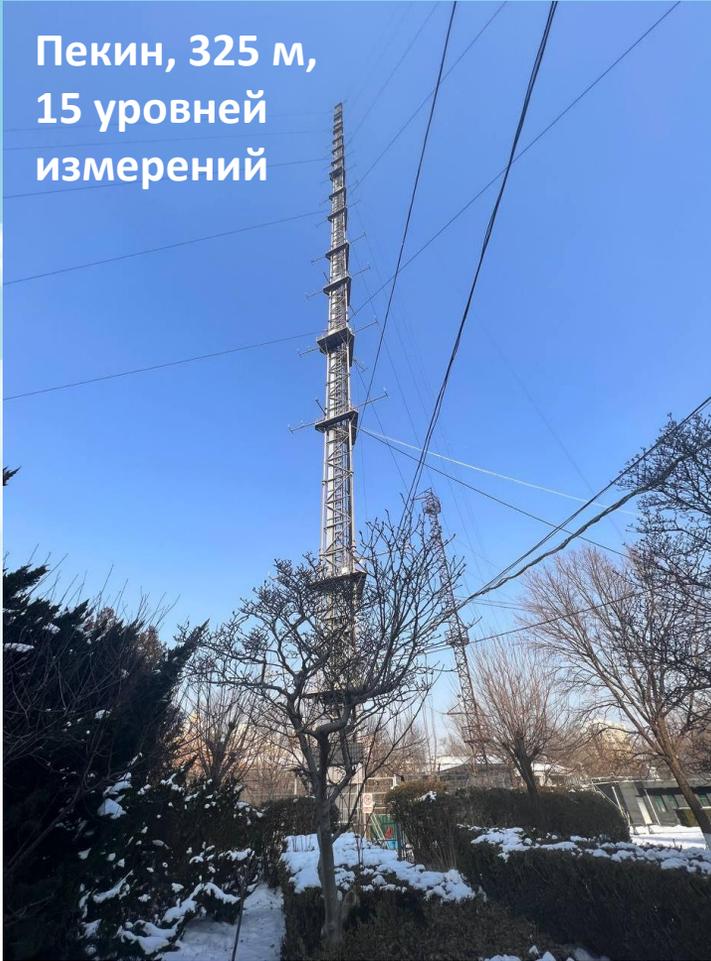


— Город (Облкомприроды) — Фон (БЭК) — Город (ИМКЭС, 40 м)

Осень

Мачты ИФА КАН в Пекине

Пекин, 325 м,
15 уровней
измерений



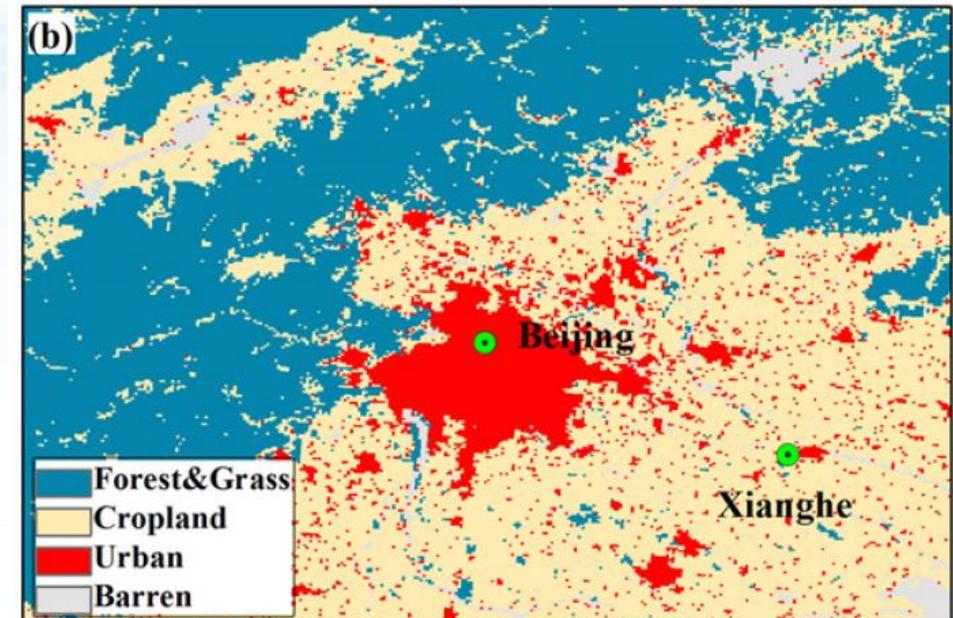
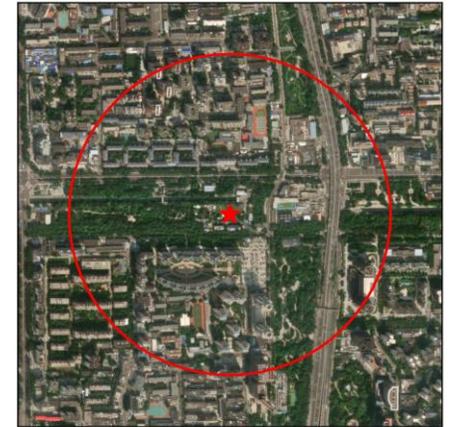
Сяньхе, 80 м,
3 уровня
измерений



Beijing_Xianghe



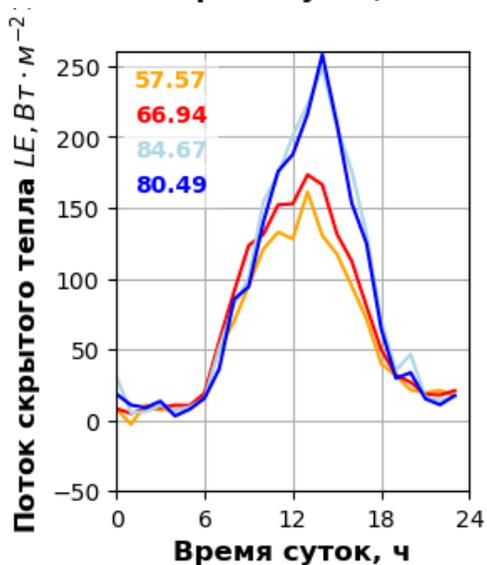
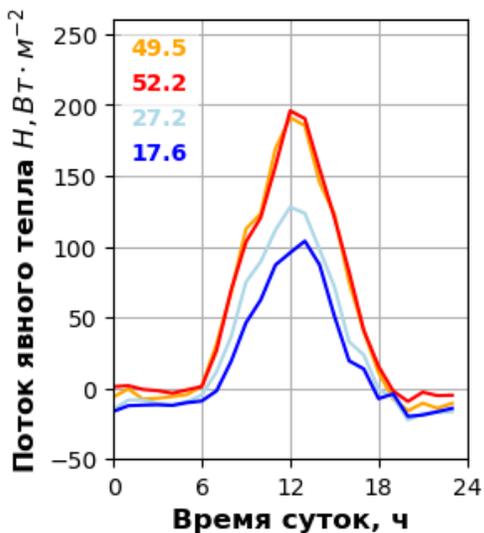
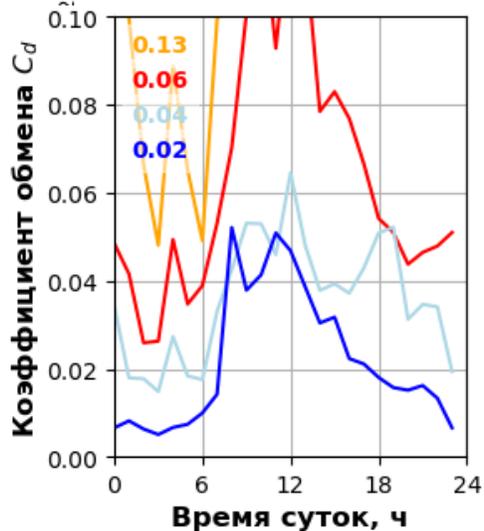
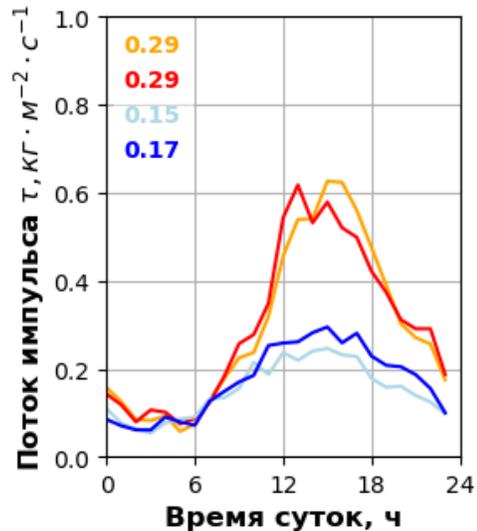
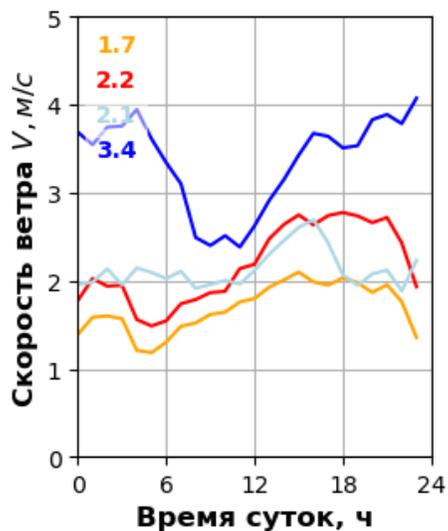
Beijing_IAP



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

Мачты ИФА КАН в Пекине

2024.06.01 - 2024.07.01, осреднение за 20 дней

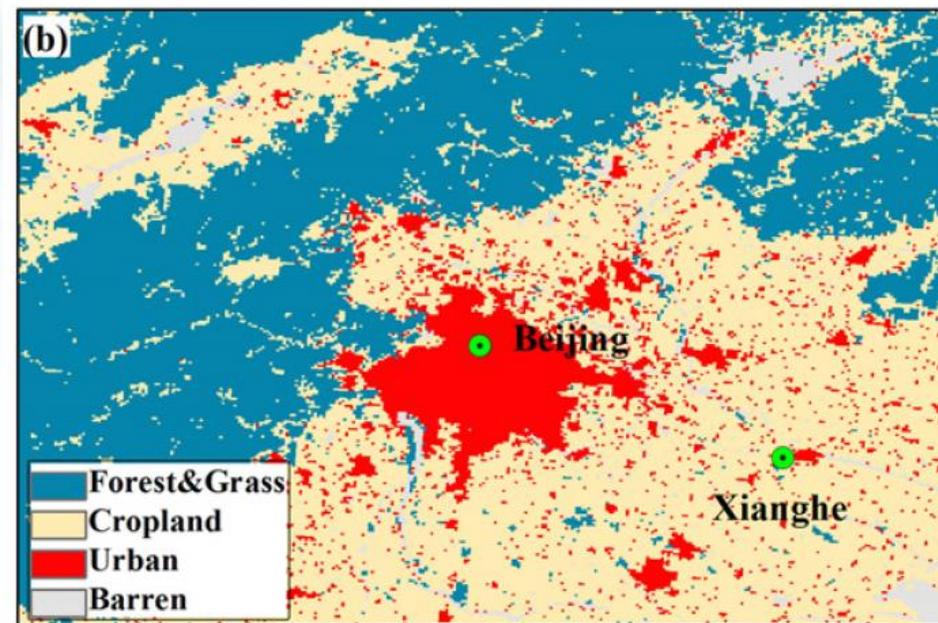
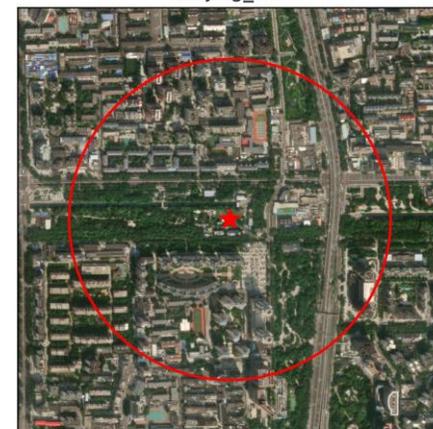


- Город (47 м)
- Город (80 м)
- Фон (32 м)
- Фон (80 м)

Beijing_Xianghe



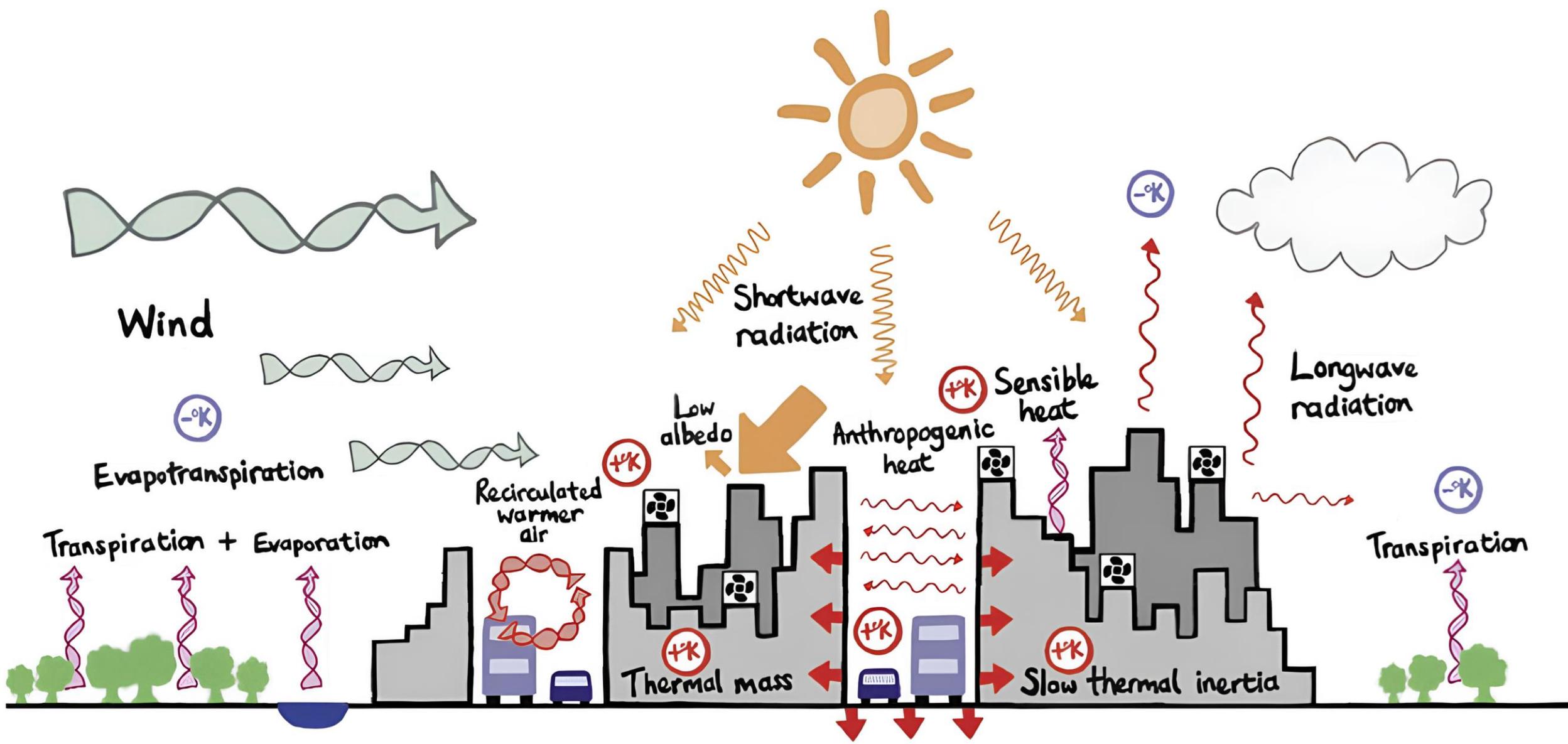
Beijing_IAP



Заключение

- ✓ Данные мониторинга турбулентного энергообмена для 6 точек наблюдений в 3-х городах Северной Евразии **приведены к единому формату** (приближенному к стандартам проекта Urban Plumber), выполнен их первичный анализ.
- ✓ Показано, что турбулентные **потоки тепла и импульса в городе могут существенно превышать фоновые значения** (летом в разы, зимой – на порядки) при месячном осреднении.
- ✓ Турбулентные потоки тепла и импульса в городе также **существенно превышают оценки из данных реанализа**, в котором влияние урбанизации не учитывается.
- ✓ В зимних условиях поток явного тепла в городе положителен и достигает 50-100 Вт/м² против близких к нулю фоновых значений, что говорит **о существенном вкладе антропогенного потока тепла**.
- ✓ Остаются вопросы к чувствительности результатов к особенностям работы измерительной аппаратуры и нюансам обработки данных.





Спасибо за внимание!