ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
Турбулентность, динамика атмосферы и климата

«Сравнение параметризаций городской поверхности различной степени сложности в модели COSMO на примере Московской агломерации»

Тарасова М. А.* [1,2] , Варенцов М. И. [1,2,3,4] Дебольский А. В. [2,4] Степаненко В. М. [2,3,4]

[1] Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ;

[2] МГУ имени М.В.Ломоносова, Научно-исследовательский вычислительный центр;

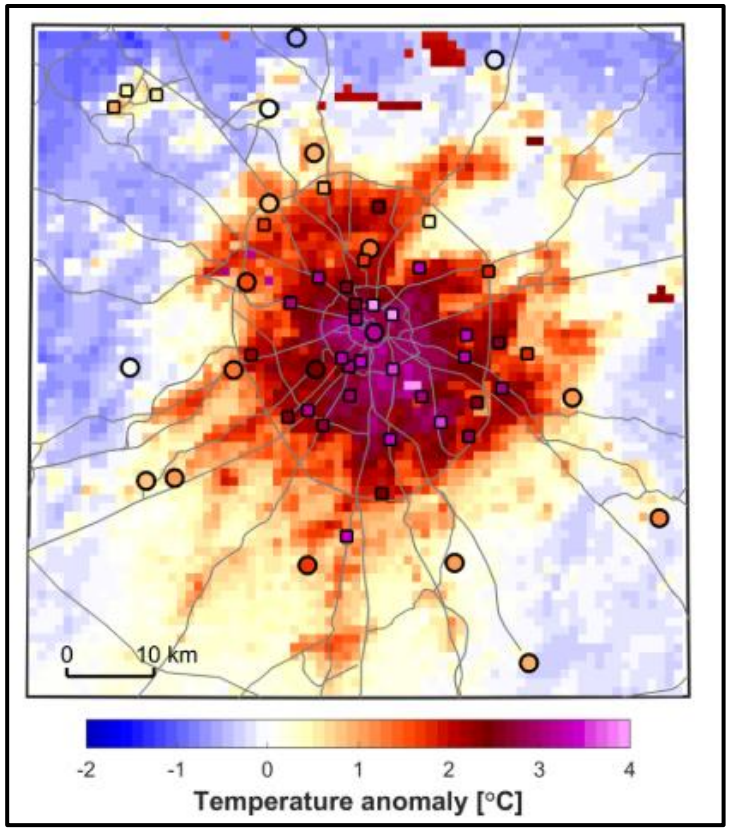
[3] МГУ имени М.В.Ломоносова, Географический факультет;

[4] Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН *e-mail: mkolennikova@mail.ru

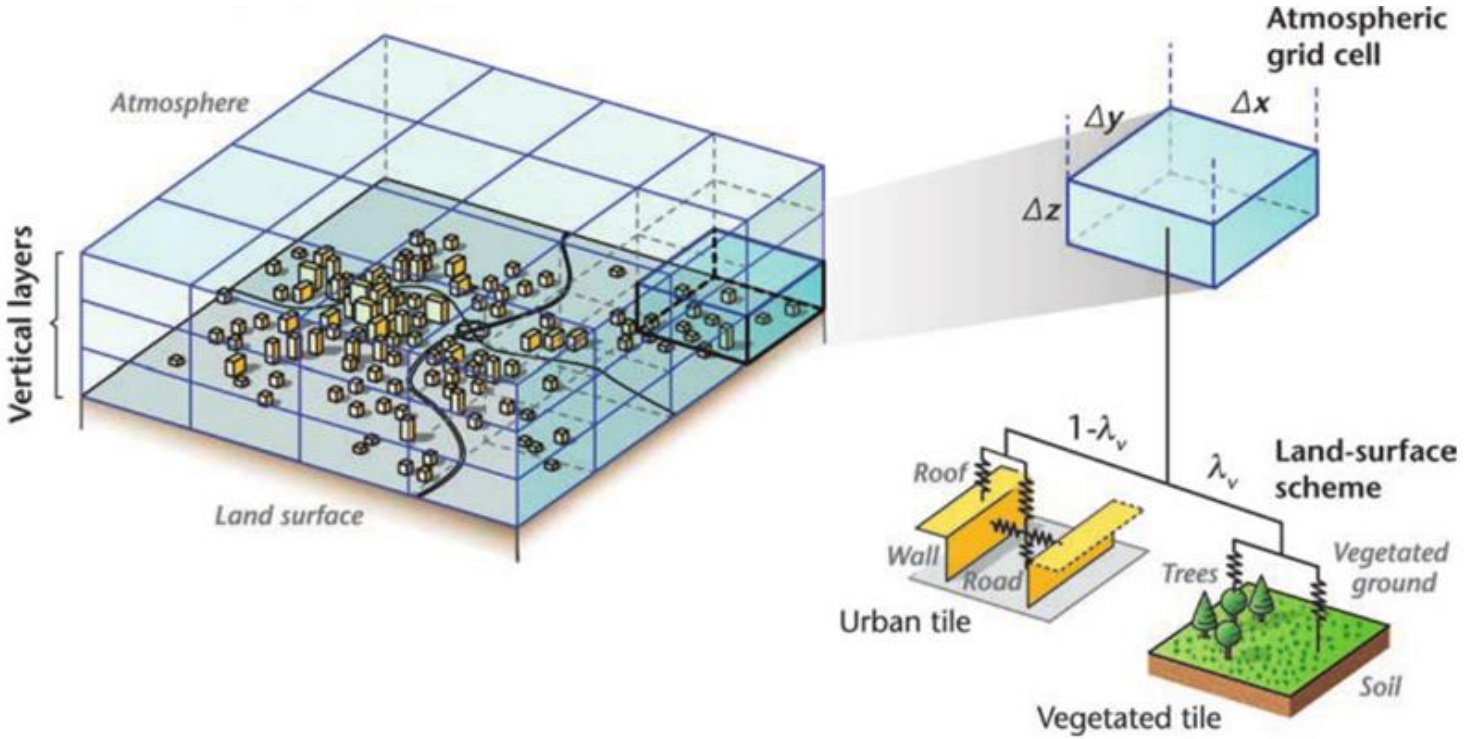
Актуальность

Для воспроизведения эффектов энерго- и массообмена между городской поверхностью и атмосферой необходимо использовать модели атмосферы совместно с **параметризациями городской поверхности**

Воспроизведение городского острова тепла в мезомасштабной модели

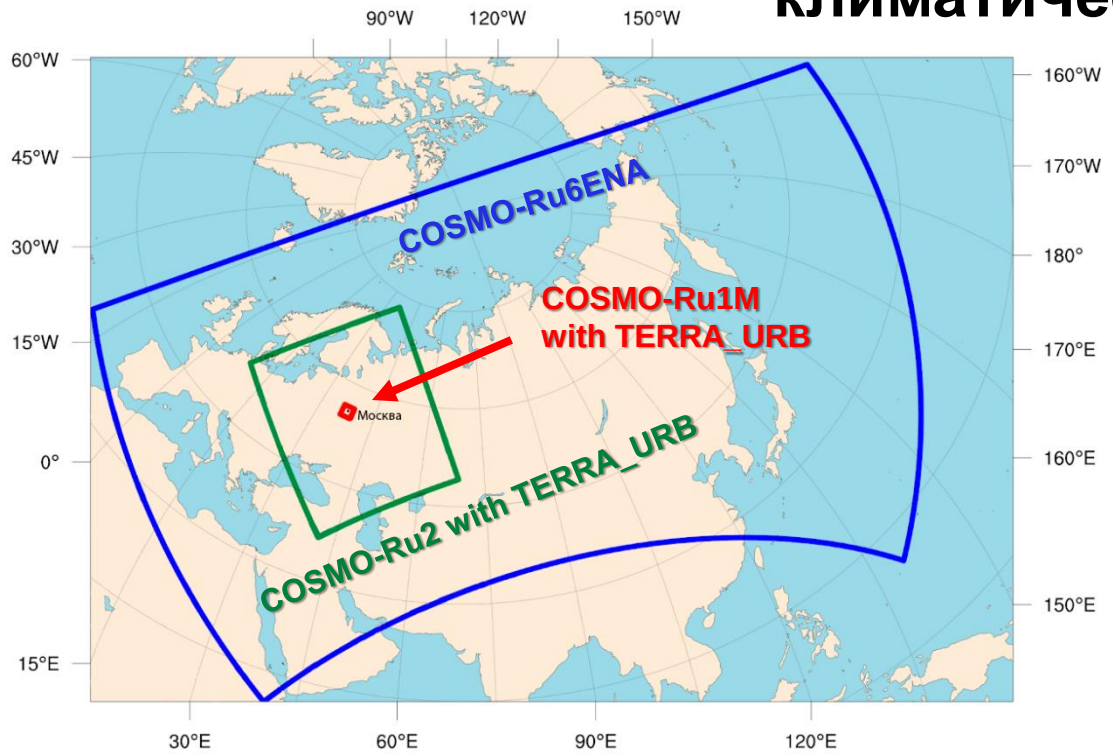


(Varentsov et al., 2020)



(Oke, 2017)

Численная модель атмосферы COSMO (региональная модель, используемая в Гидрометцентре России для прогноза погоды, а также климатических исследований)



(Rivin et al., 2019; 2020)

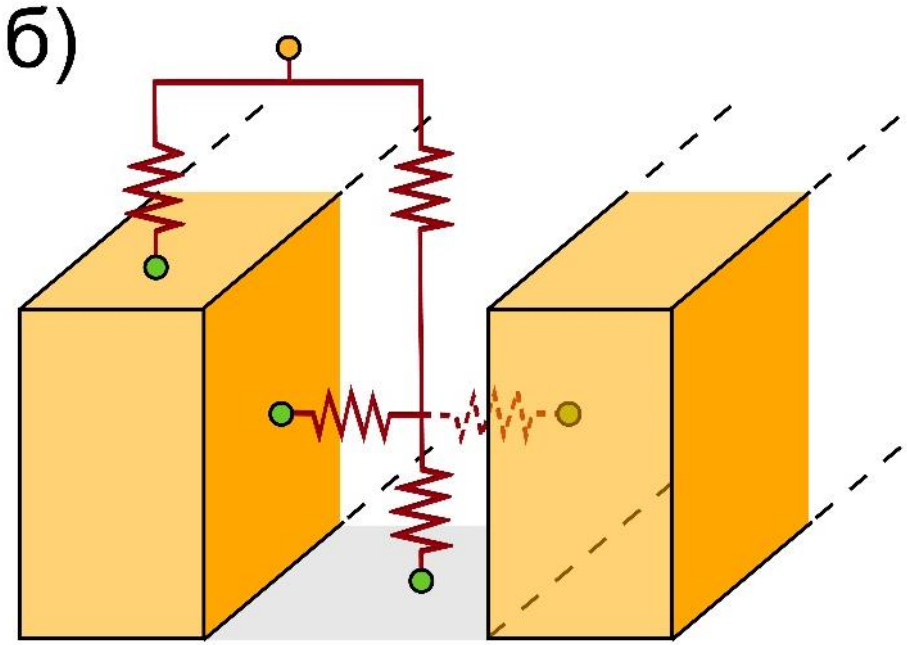
CONSORTIUM FOR SMALL SCALE MODELING

COSMO

В модель интегрирована городская параметризация TERRA_URB.

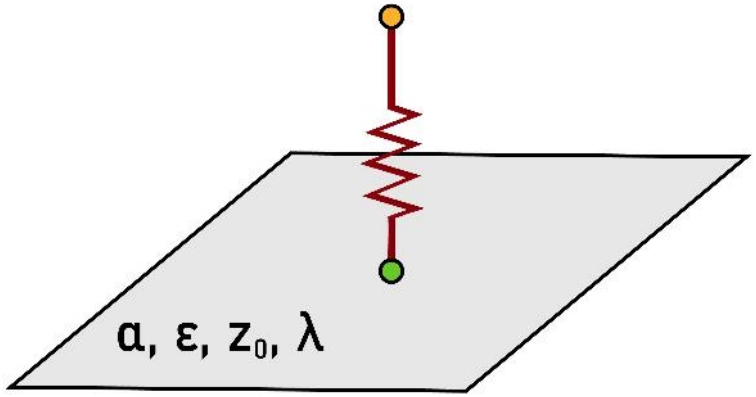
TEB
[Masson, 2000]

Модели городского полога



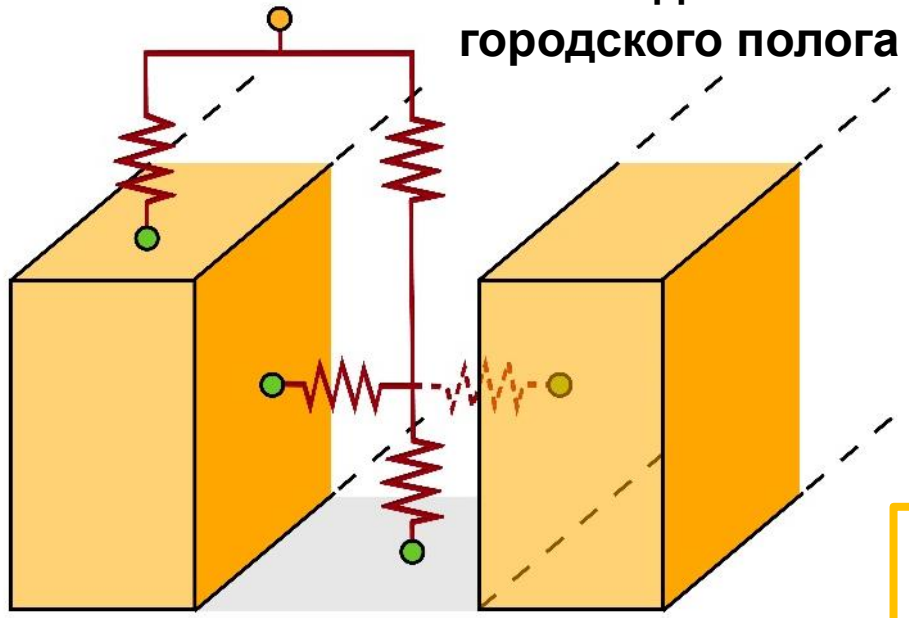
Городские параметризации (сходства)

Интегральные модели приземного слоя (Slab-модели / (балк-параметризации)



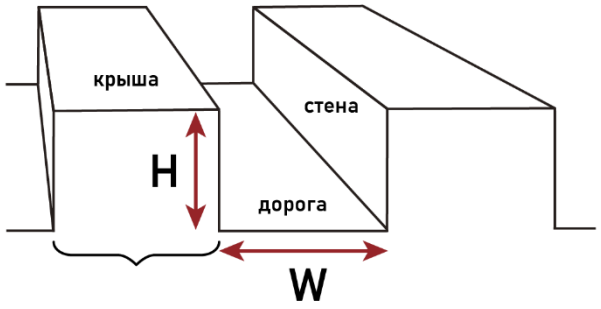
TERRA_URB
[Wouters, 2016]

Модели городского полога

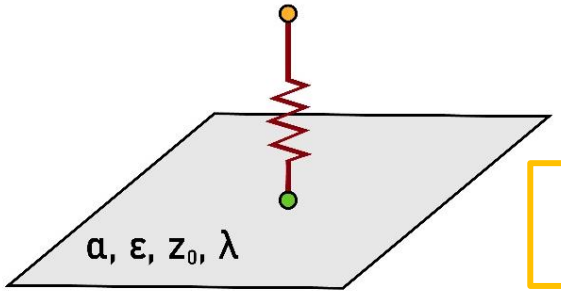


TEB
[Masson, 2000]

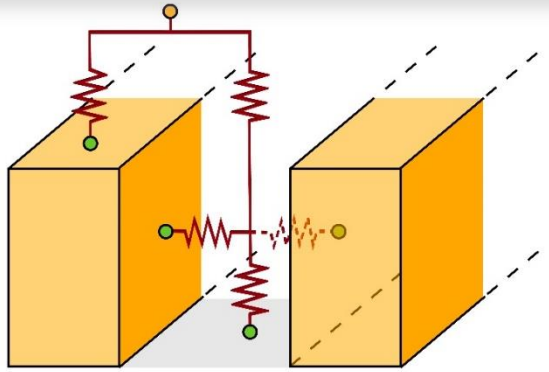
- В основе лежит концепция «городского каньона», два основных параметра которого – это средняя высота и расстояние между двумя зданиями
- «Городской каньон» находится под поверхностью, городские параметризации предоставляют модели атмосферы нижние граничные условия, определяющие режим взаимодействия атмосферы и подстилающей поверхности



Городские параметризации (различия)



TERRA_URB
[Wouters, 2016]



TEB
[Masson, 2000]

- Параметры модели почвы параметризуются в соответствии с параметрами застройки:

Объёмное альбедо

$$\alpha_{bulk} = \alpha * (\delta_R + (1 - \delta_R) * exp(-0.6\frac{H}{W}))$$

Объёмная излучательная способность

$$\varepsilon_{bulk} = \varepsilon * (\delta_R + (1 - \delta_R) * exp(-0.6\frac{H}{W}))$$

Объёмное теплосодержание

$$c_{bulk} = c * [\left(1 + 2\frac{H}{W}\right)(1 - \delta_R) + \delta_R]$$

Объёмная теплопроводность

$$\lambda_{bulk} = \lambda * [\left(1 + 2\frac{H}{W}\right)(1 - \delta_R) + \delta_R]$$

- Уравнения теплового баланса решается отдельно для поверхности крыши, дороги и стены:

$$0 = Sr_i + Lr_i + H_i + LE_i + G_i$$

где *i* - идентификатор типа поверхности:
дорога (“r”), стена (“w”), крыша (“R”)

- Учет эффектов затенения и переотражения радиации внутри каньона

Альбедо:

$$\alpha_{эфф\ so} = \frac{S^{\uparrow}}{S^{\downarrow}}$$

Излучательная способность:

$$\varepsilon_{эфф\ th} = 1 - \sum_{i=1}^{N} \delta_i \Psi_{i \to sky} \varepsilon_i$$

где *i* - тип поверхности (крыша, стена, дорога)

Цель исследования

Сравнение двух городских параметризаций различного уровня сложности в рамках одной численной модели атмосферы COSMO

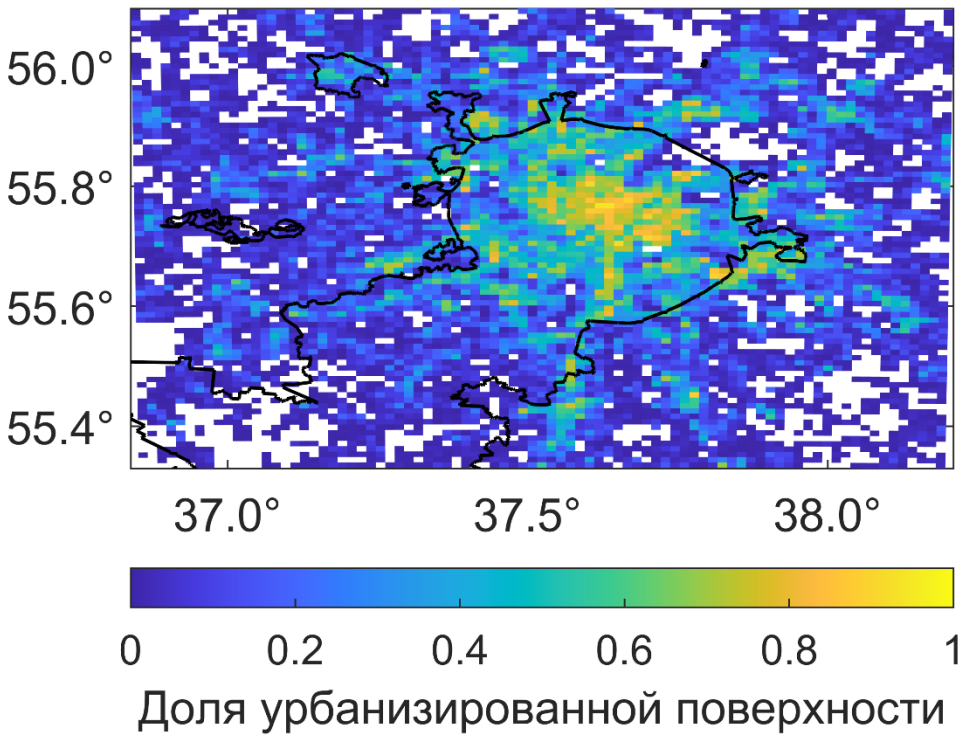
Задачи исследования

1. Проведение моделирования метеорологического режима Московского региона с двумя городскими параметризациями с одинаковым заданием внешних параметров.
2. Сравнение качества воспроизведения городского острова тепла с использованием двух параметризаций по данным наблюдений.

Постановка численного эксперимента

Постановка эксперимента:

Шаг сетки: 1 км
Шаг по времени: 15 с
Период интегрирования: 1 – 31 августа 2022 г.
Домен: обновлённая конфигурация COSMO-Ru1MSK (Кузнецова и др., 2024), 240 на 240 ячеек
Граничные и начальные условия: реанализ ERA5 (разрешение 0,25°×0,25°) для внешнего домена модели COSMO с шагом 3 км
По вертикали используется 50 уровней (до высоты 22 км), из которых 10 расположены в нижнем километровом слое



Средний ГОТ:

$$\text{ГОТ}_{mean} = T_{urb} - T_{\text{фон}}$$

$$T_{urb} = T_{\text{Балчуг}} + T_{\text{ВДНХ}} + T_{\text{МГУ}} + T_{\text{ТСХА}} + T_{\text{Тушино}}$$

ГОТ для центра Москвы:

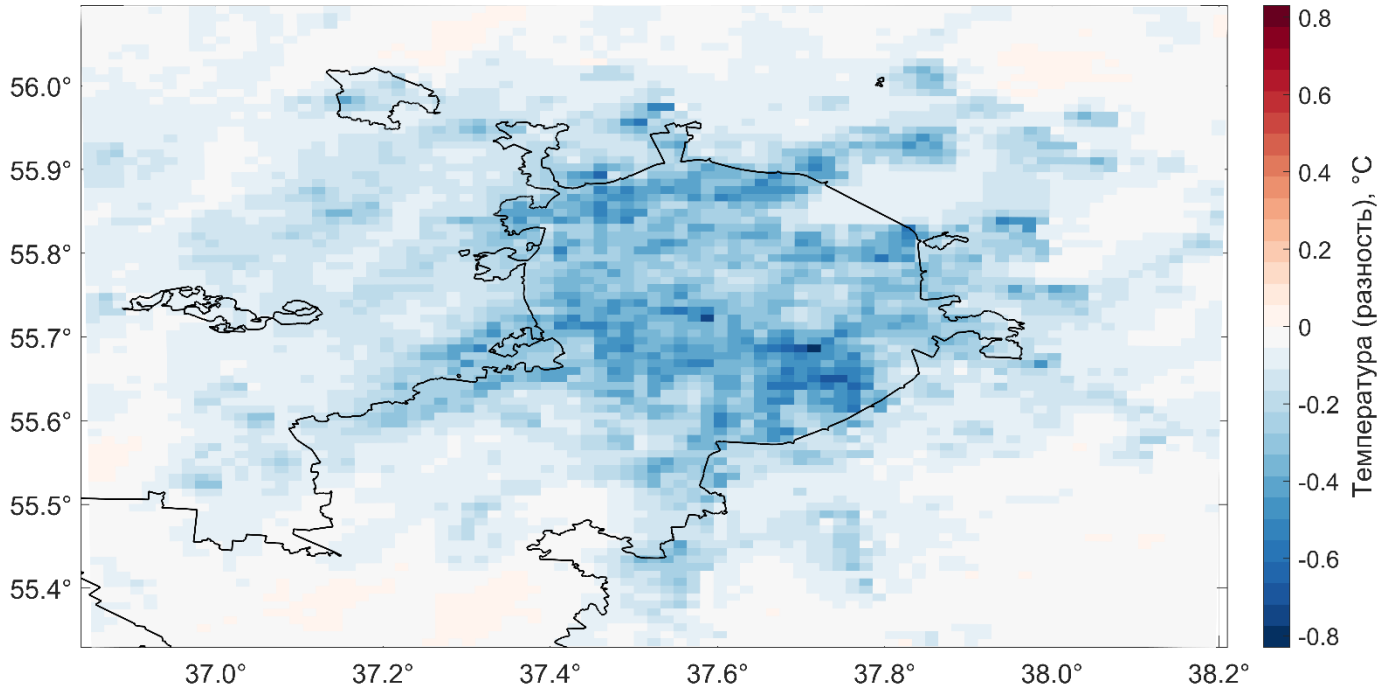
$$\text{ГОТ}_{max} = T_{\text{Балчуг}} - T_{\text{фон}}$$

В августе 2022 г. отмечалось исключительно высокое значение городского острова тепла (ГОТ) г. Москвы

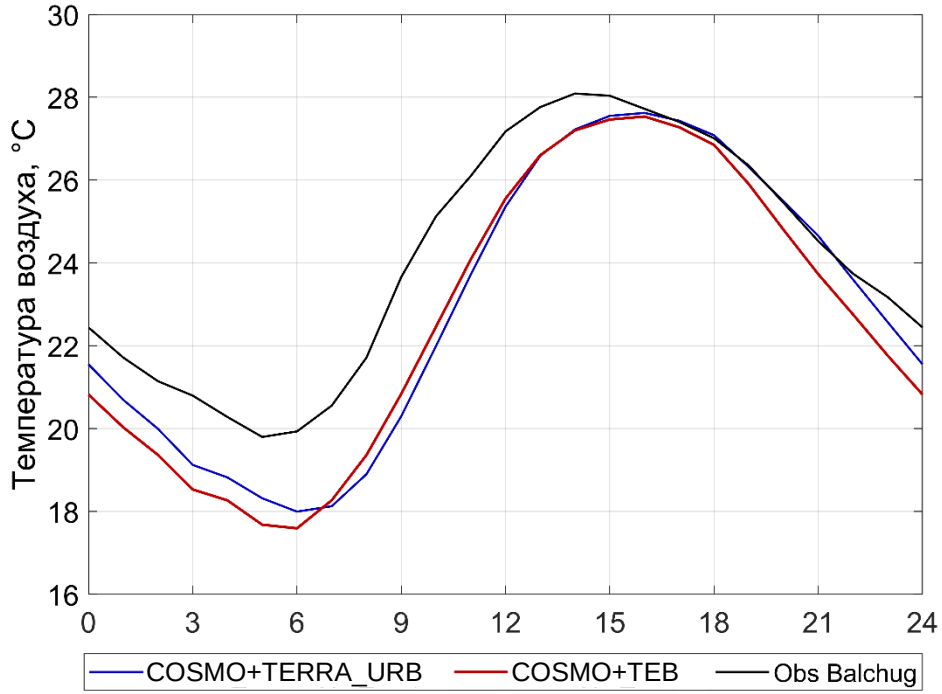
	Август: среднее за 2000-2020 гг. (Локощенко и др., 2023)	Август, 2022
ГОТ для центра Москвы	≈2,4°C	3,4°C
Средний ГОТ	≈1,0°C	1,6°C

Задача 1. Сравнение с одинаковыми внешними параметрами

Средняя за август 2022 г. **температура воздуха на 2 м**: разность между COSMO+TEB и COSMO+TERRA_URB



Средний за август 2022 г. суточный ход температуры воздуха на 2 м

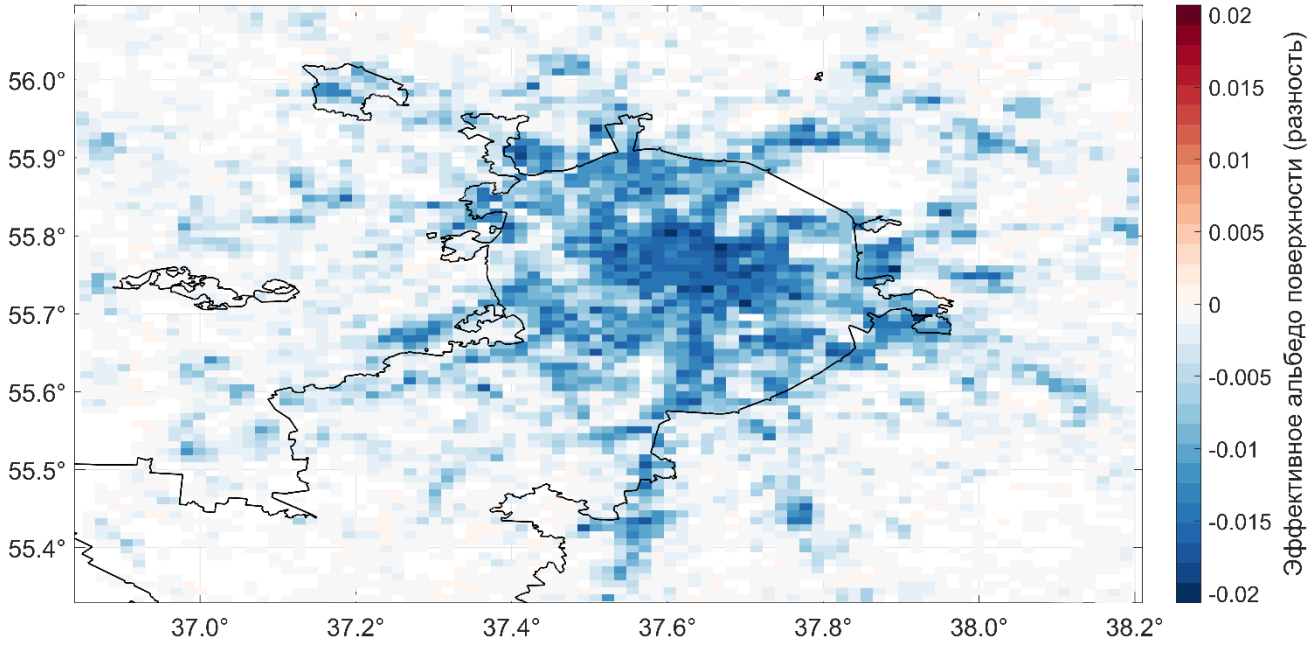


В среднем за август 2022 г. температура воздуха в эксперименте с новой городской параметризацией TEB оказывается ниже на 0,4°C, в отдельных ячейках до 0,8°C, чем в эксперименте с базовой параметризацией TERRA_URB.

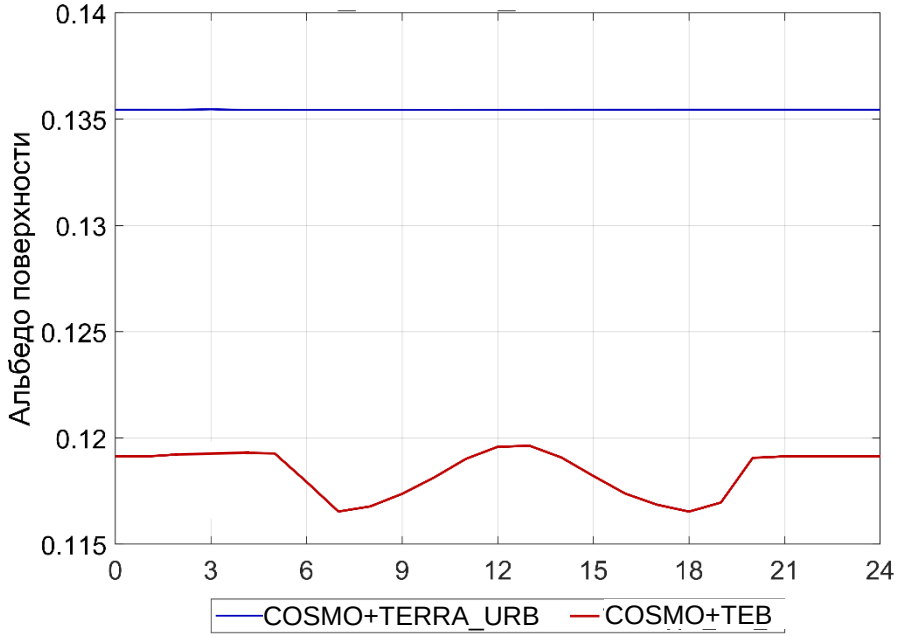
При этом скорость нагрева и охлаждения приземного воздуха оказывается выше в эксперименте с новой параметризацией TEB.

Задача 1. Сравнение с одинаковыми внешними параметрами

Среднее за август 2022 г. **эффективное альбедо**: разность между COSMO+TEB и COSMO+TERRA_URB



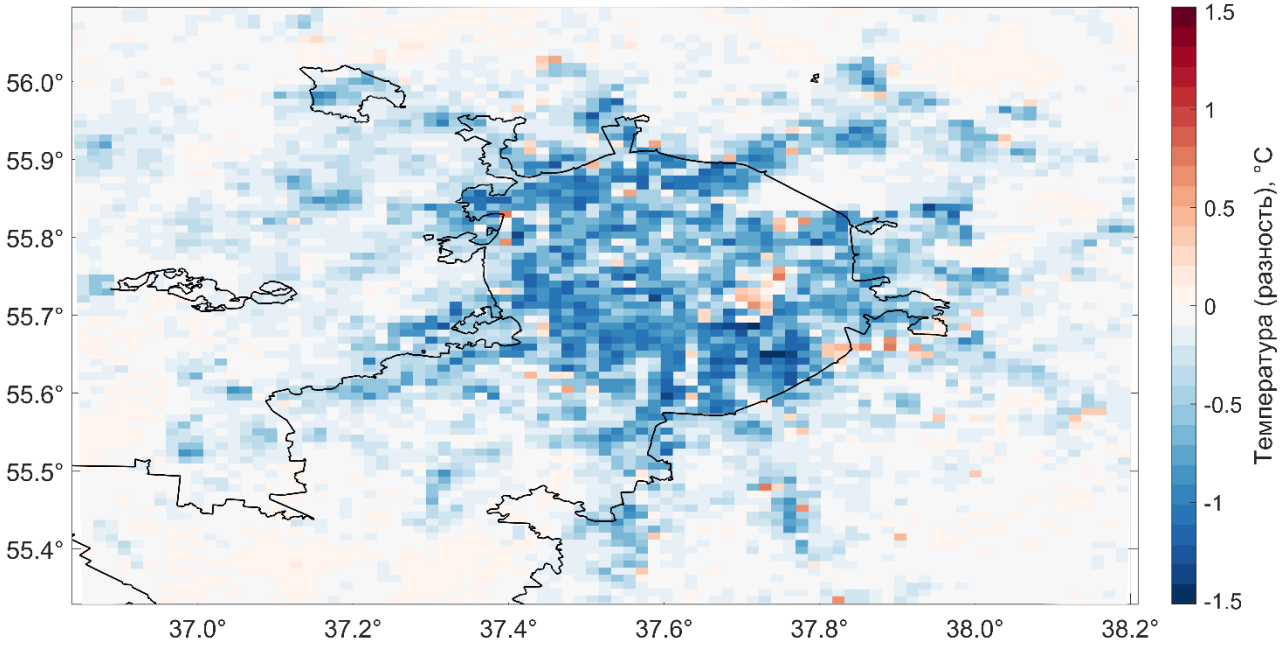
Средний за август 2022 г. суточный ход эффективного альбедо поверхности



В среднем за август 2022 г. эффективное альбедо поверхности в эксперименте с новой городской параметризацией TEB оказывается ниже на 10-15%, чем в эксперименте с базовой параметризацией TERRA_URB. А значит радиационные свойства поверхности не являются определяющими на итоговое значение приземной температуры воздуха.

Задача 1. Сравнение с одинаковыми внешними параметрами

Средняя за август 2022 г. **температура поверхности**: разность между COSMO+TEB и COSMO+TERRA_URB



Возможные причины:

1. Более высокие значение теплоемкости в эксперименте с TERRA_URB за счет масштабирования значений, задаваемых в качестве внешних параметров, на индекс площади поверхности.

2. Различное задание граничных условий для уравнения теплопроводности. В TEB температура регулируется за счет задания минимальной температуры внутри здания = 19°C и максимальной температуры с помощью дополнительных условий.

В среднем за август 2022 г. температура поверхности в эксперименте с новой городской параметризацией TEB оказывается ниже на 1,0°C, чем в эксперименте с базовой параметризацией TERRA_URB. Причем как и для температуры воздуха на 2 метрах, наибольшая разница отмечается в ночное время суток.

Задача 2. Сравнение с данными наблюдений

Верификация по данным метеостанций основной сети для августа 2022 года

Учет в экспериментах антропогенного потока тепла:

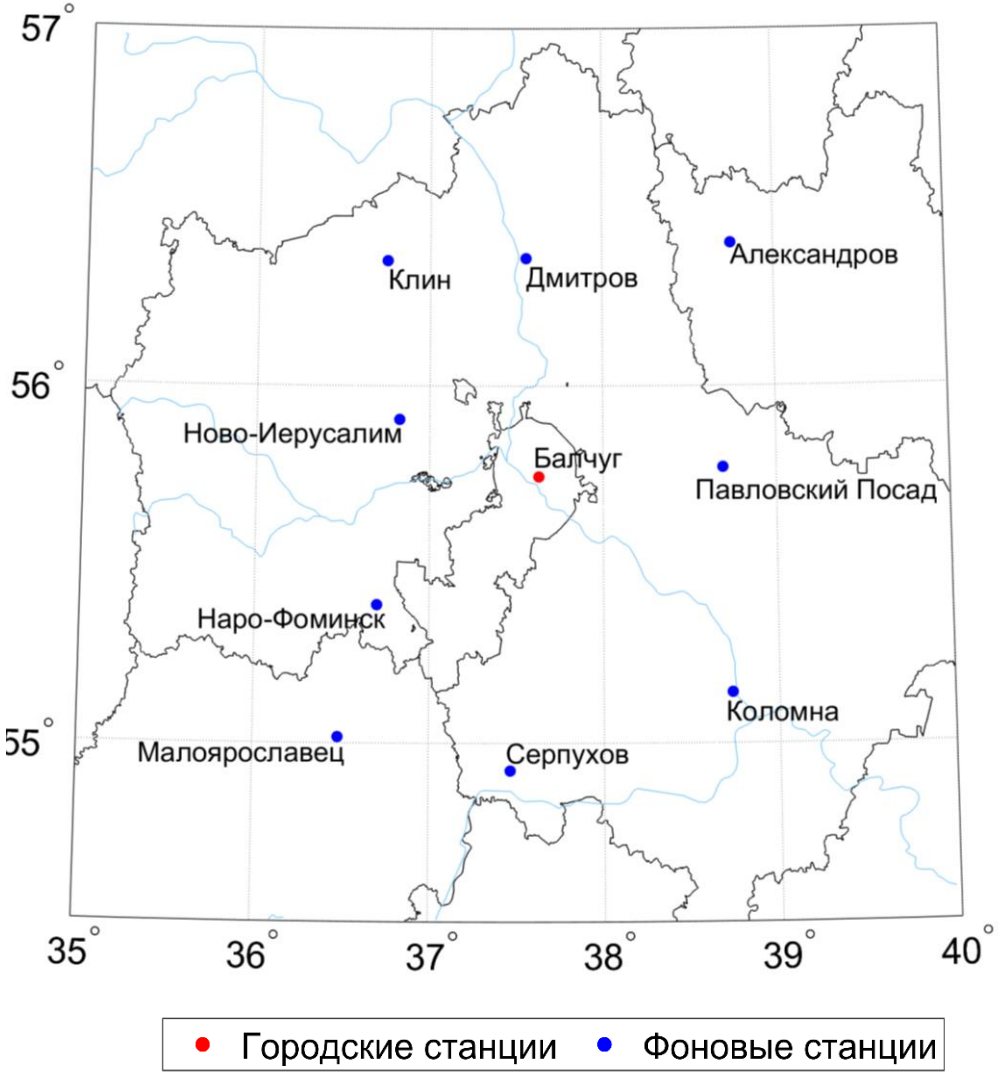
В параметризации TERRA_URB:

Среднегодовая оценка потока тепла, полученная [Stewart and Kennedy, 2016], которая для Москвы составляет **75 Вт/м^2** в пересчете на площадь урбанизированной территории и включает в себя выбросы, связанные с отоплением / охлаждением зданий, автотранспортом и процессами метаболизма живых организмов

В параметризации TEB:

Обеспечение параметризации TEB **антропогенным потоком тепла от автотранспорта**

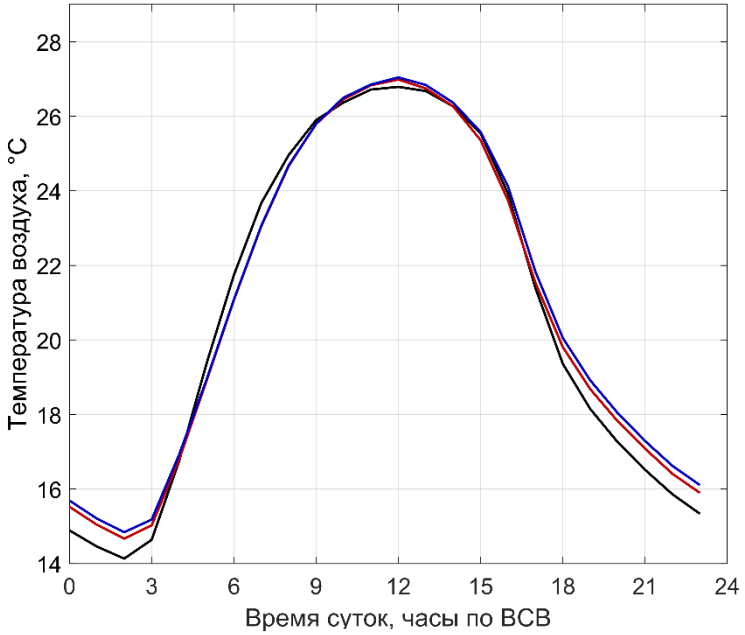
Подключение **модели теплового баланса здания – BEM (Building Energy Model)** для расчета потоков скрытого и явного тепла, выделяемых в атмосферу и связанных в первую очередь с процессами отопления и кондиционирования здания.



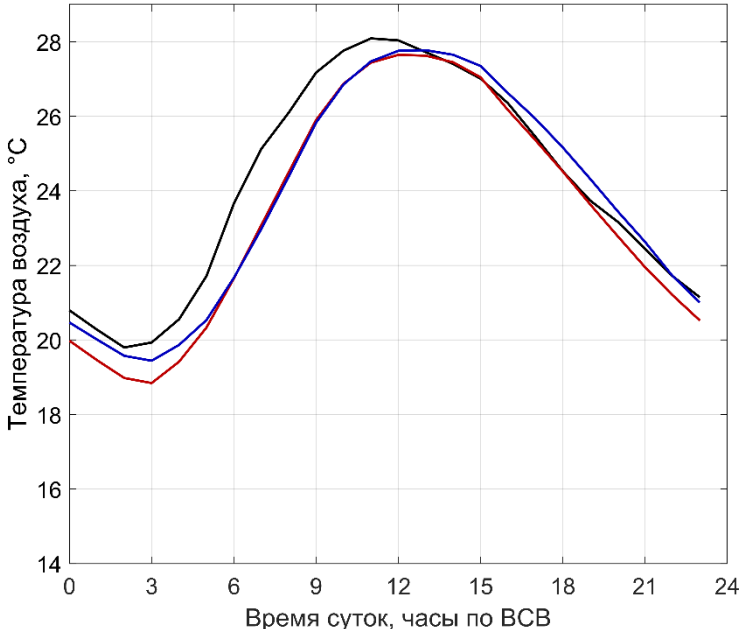
Задача 2. Сравнение с данными наблюдений

Средний за август 2022 года суточный ход фоновой температуры (слева), температуры в центре Москвы (по центру) и интенсивности ГОТ (разность центр - фон) (справа) по данным наблюдений и моделирования

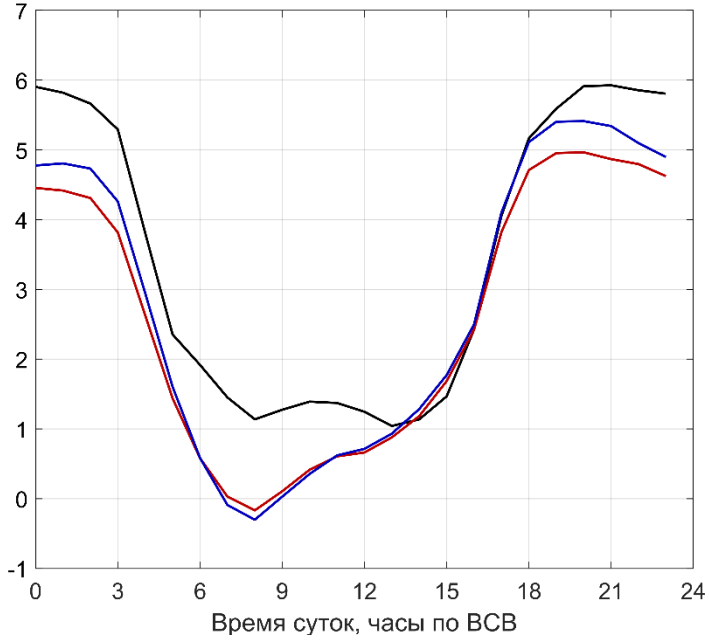
Фоновые станции



Балчуг



Интенсивность ГОТ



Данные наблюдений — COSMO+TEB+BEM — COSMO+TERRA_URB

Суточный ход для фоновых станций моделью COSMO с обеими городскими параметризациями воспроизводится с высокой степенью достоверности. Однако для городских станций отмечается сдвиг суточного хода: температура воздуха в модели запаздывает относительно температуры по наблюдениям.

Задача 2. Сравнение с данными наблюдений

Значения средней (ME) и среднеквадратической ошибки (RMSE) температуры воздуха на 2 метрах для модели COSMO с двумя параметризациями городской поверхности для августа 2022 года

	Городская параметризация	Метрика	Фоновые метеостанции	Станция Балчуг
Все сроки	TERRA_URB	ME	0,29	0,38
	TEB	ME	0,15	-0,72
	TERRA_URB	RMSE	1,53	**1,45**
	TEB	RMSE	1,49	**1,46**
Ночные сроки (0-3 ч по МСК)	TERRA_URB	ME	0,78	-0,07
	TEB	ME	0,58	-0,61
	TERRA_URB	RMSE	1,66	**1,06**
	TEB	RMSE	1,54	**1,15**

Точность воспроизведения температуры воздуха в экспериментах с обеими городскими параметризациями сопоставима. Различия отмечаются в ночные сроки для выборки городских метеостанций, где среднеквадртическя ошибка выше в эксперименте с новой городской параметризацией TEB за счет занижения ночной температуры воздуха.

Выводы

1. Проведено сравнение двух параметризаций городской поверхности различного уровня сложности в рамках модели атмосферы COSMO.

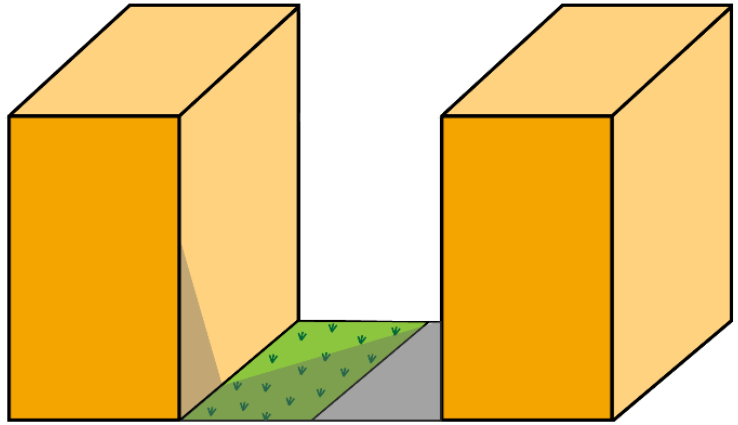
2. Установлено, что параметризация TEB воспроизводит температуру воздуха на высоте 2 м ниже в среднем на 0,4°C, а температуру поверхности ниже на 1,0°C, чем параметризация TERRA_URB. Основной фактор, определяющий эти различия, связан с процессами переноса тепла внутрь городской поверхности, за счет использования разных моделей почвы.

3. Оценено воспроизведение городского острова тепла (ГОТ) по данным основных метеостанций г. Москвы. Модель COSMO с городской параметризацией TERRA_URB занижает максимальную интенсивность ГОТ в среднем на 1°C и немного сильнее с новой параметризацией TEB. При этом в течение дня интенсивность ГОТ в экспериментах с обеими параметризациями городской поверхности практически не различается.

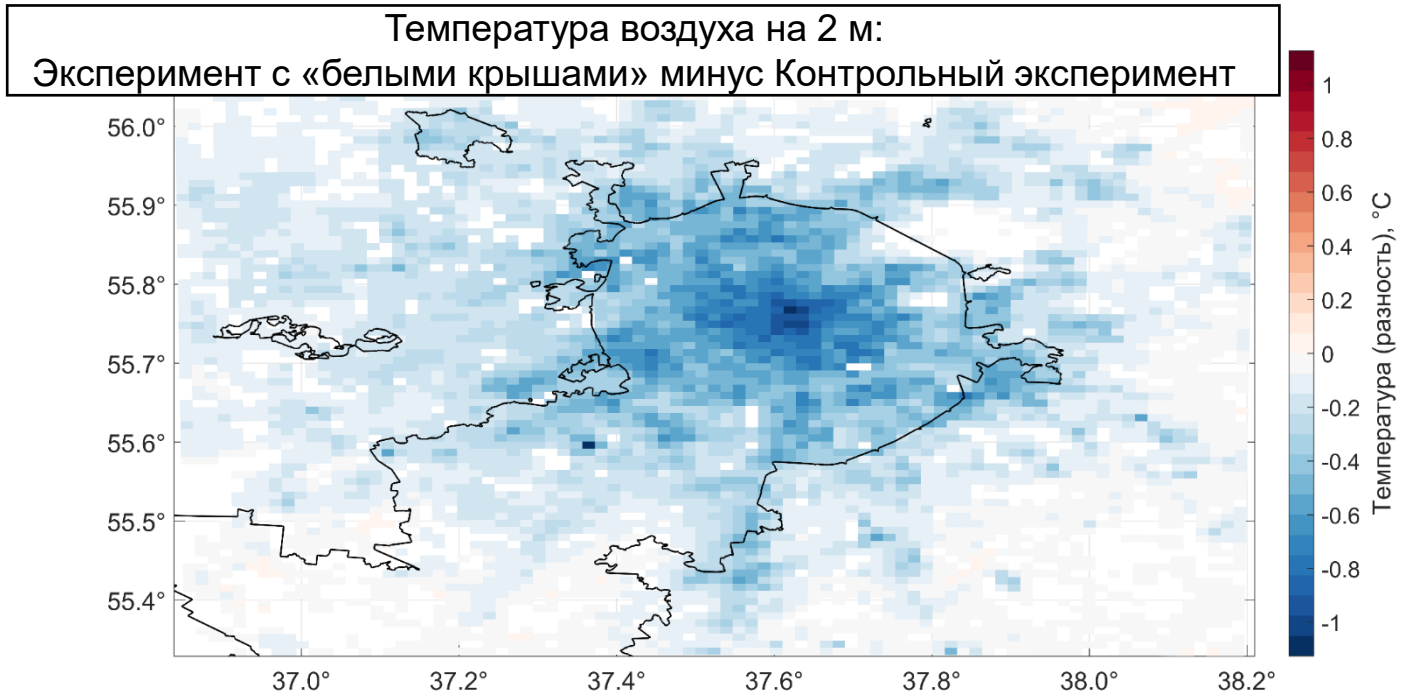
Перспективы использования новой параметризации TEB

Исследование мер адаптации к волнам жары

1) Включение городской растительности внутрь каньона



2) Изучение влияния «белых» и «зеленых» крыш на микроклимат города и др.



Спасибо за внимание!