



Климат Московской агломерации в условиях глобального потепления

А.В.Кислов

кафедра метеорологии и
климатологии, Географический
факультет, МГУ имени М.В.Ломоносова

Международная конференция «Изменение климата в городах: формы и стратегии адаптации с особым рассмотрением роли российских городских садов». 30-31 октября 2018 г.

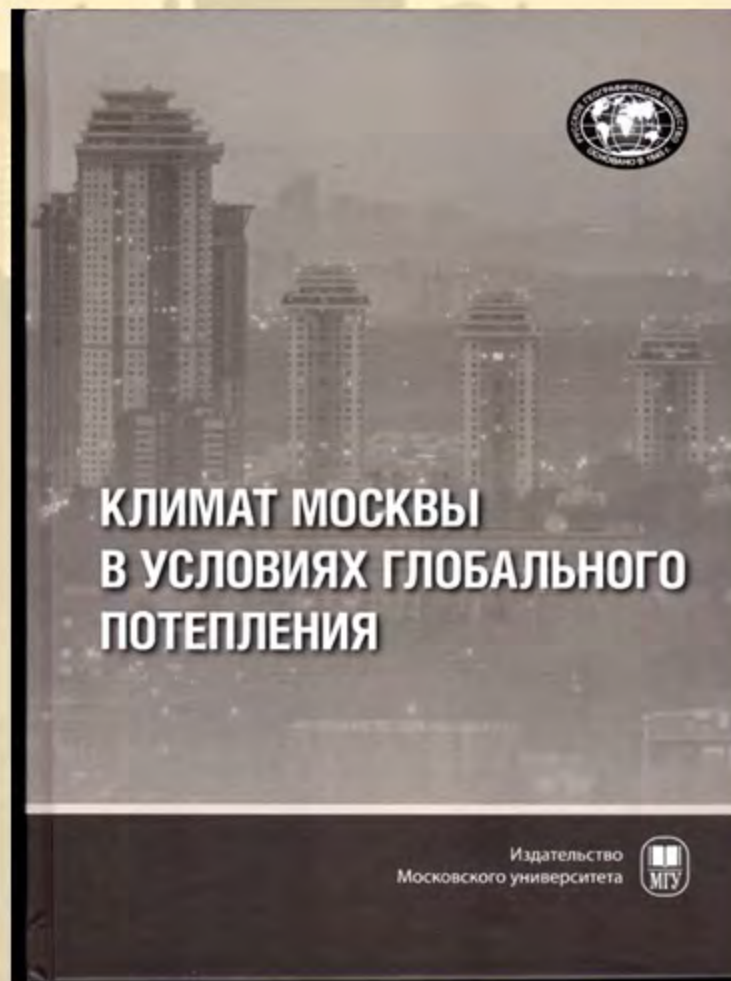
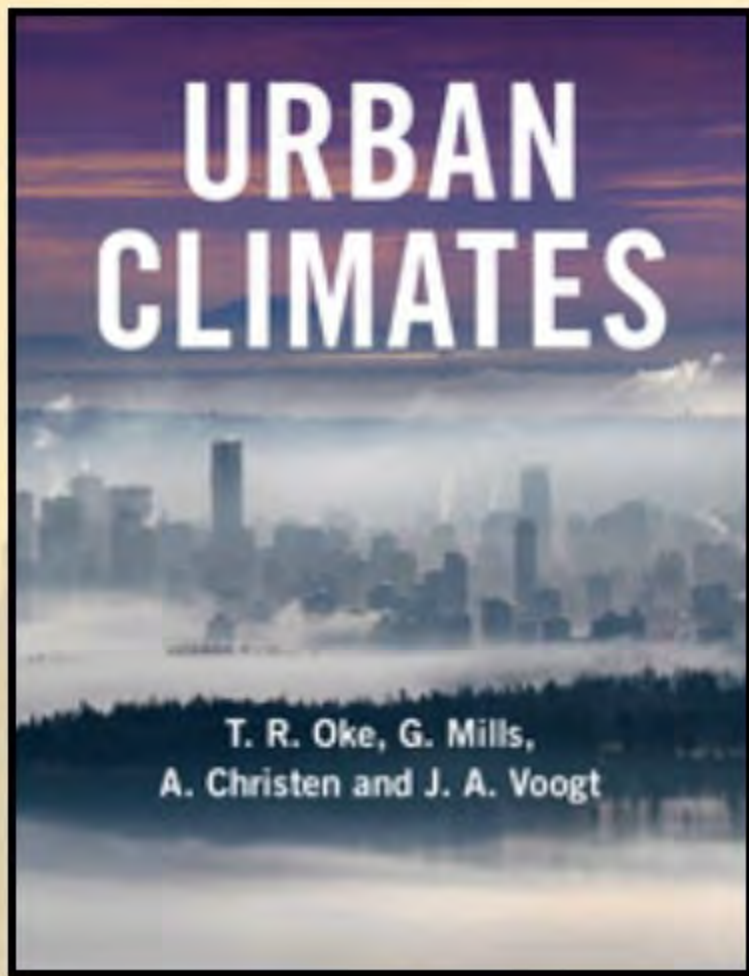
ПЛАН

- Города как объекты микро-мезо климата. Концепция «островов».
- Структура островов по данным наблюдений у поверхности и спутниковым данным 3d.
- Подходы к моделированию. Городская среда. Типы поверхностей. OPENSTREETMAP.
- Иерархия моделей: микро, мезо, глобальная. Или бесшовная (ICON-LAM ?). Суперкомпьютерное моделирование.
- Моделирование COSMO-CLM. 3d. Мезоструктура. Ветер. Циркуляция. Обратные связи с загрязнением.
- Урбанистическое ускорение глобального потепления.

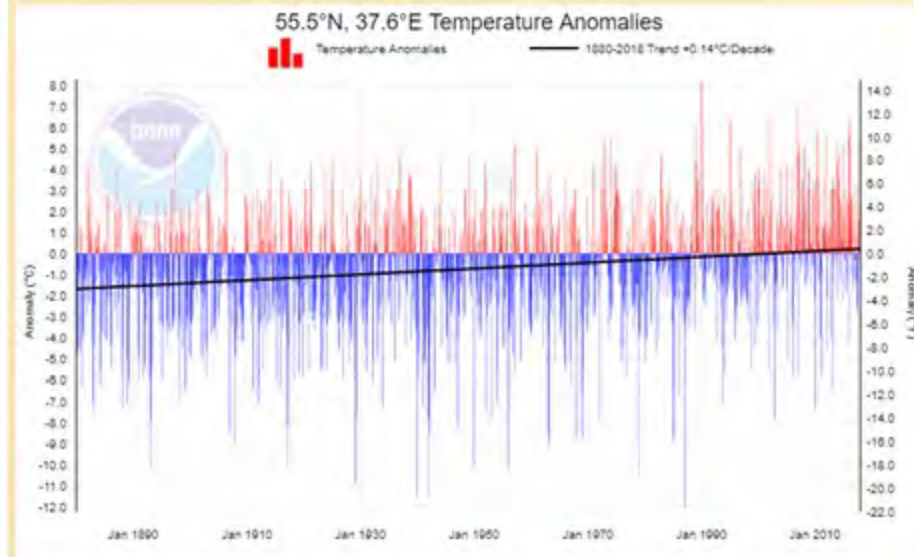
Климатическая уязвимость и риск



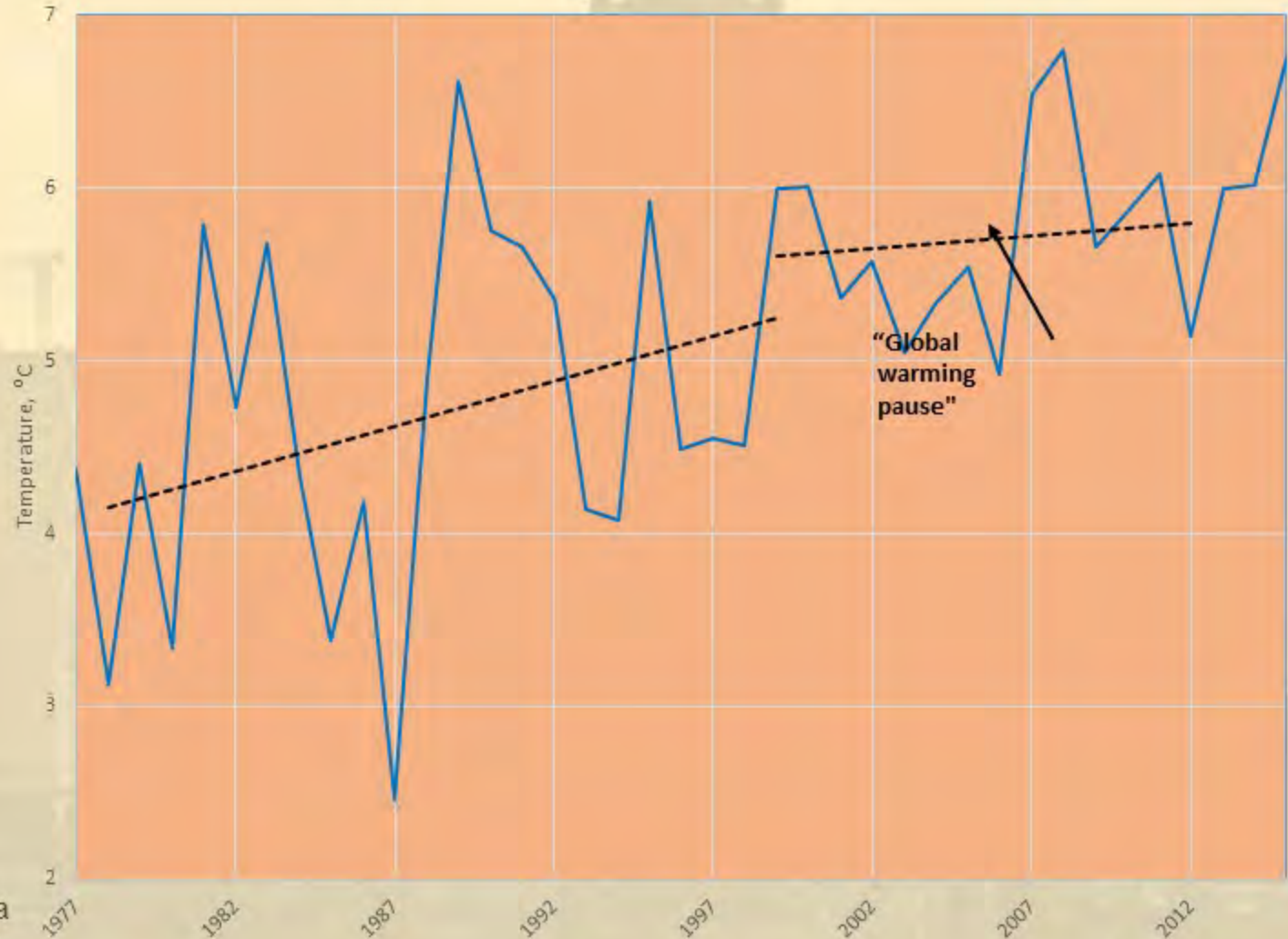
2017 год: ключевые публикации



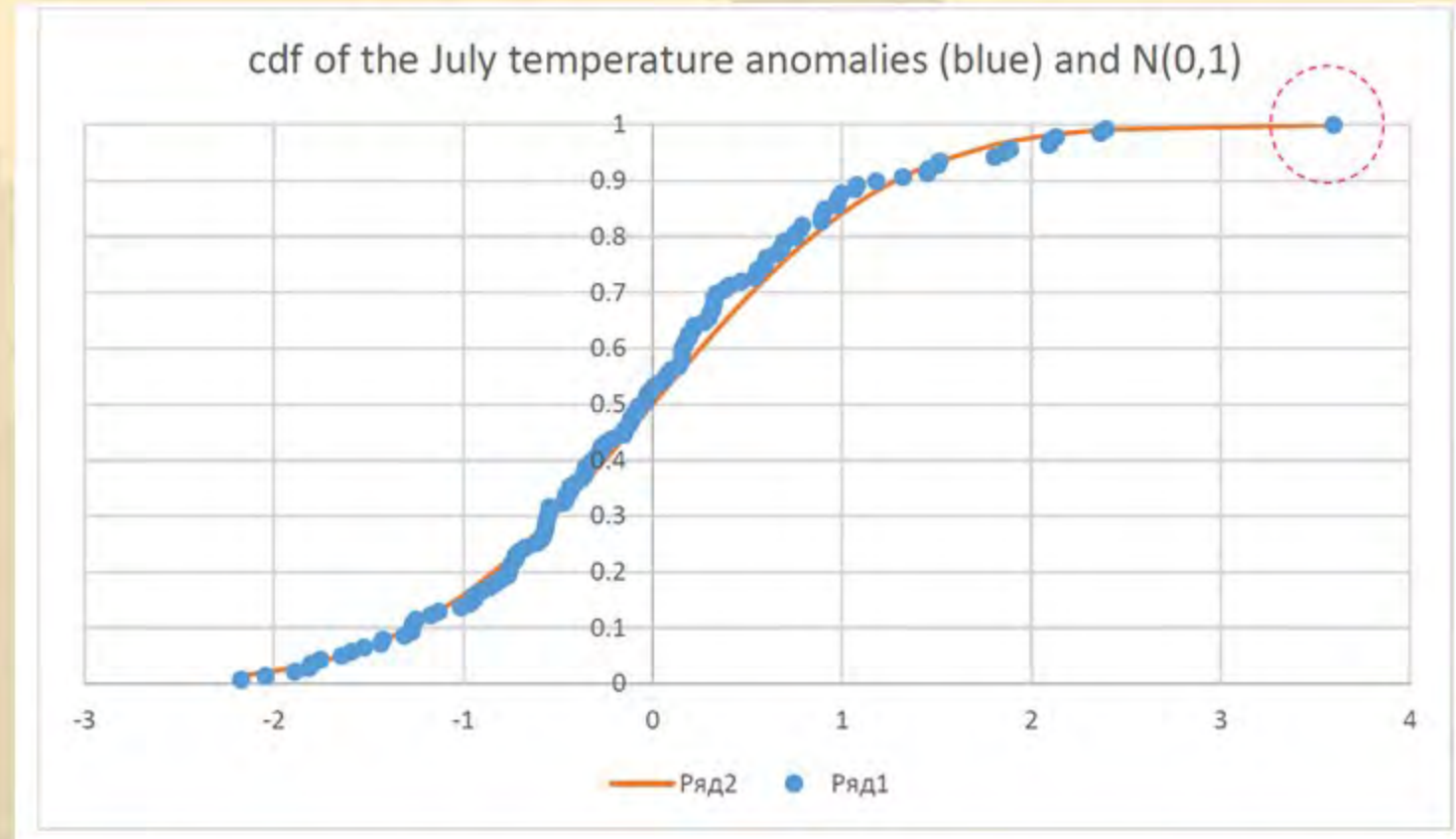
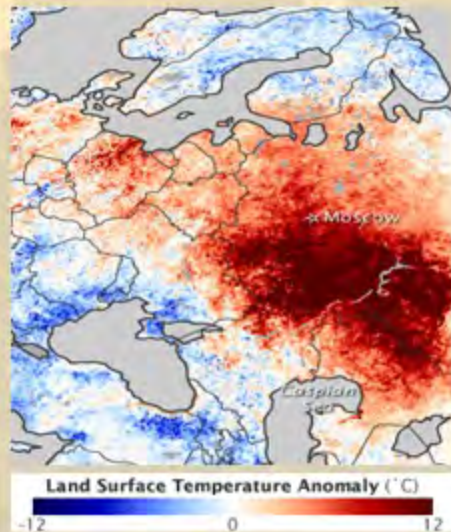
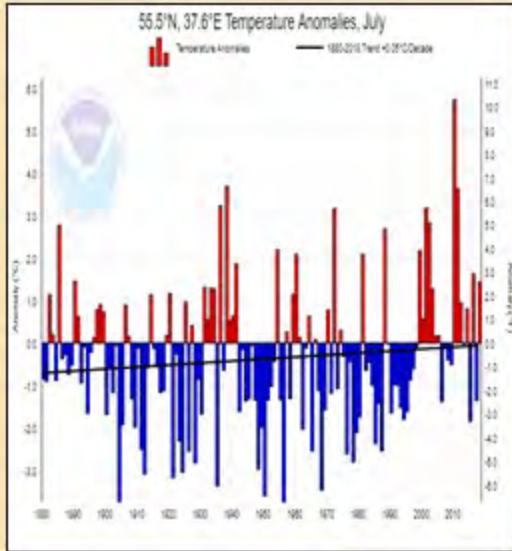
Температура воздуха в Подмосковье (среднее по 8 станциям)



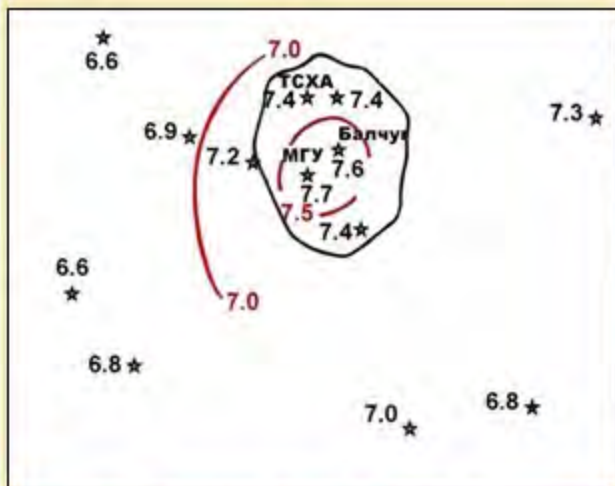
Динамика температуры
за 150 лет.



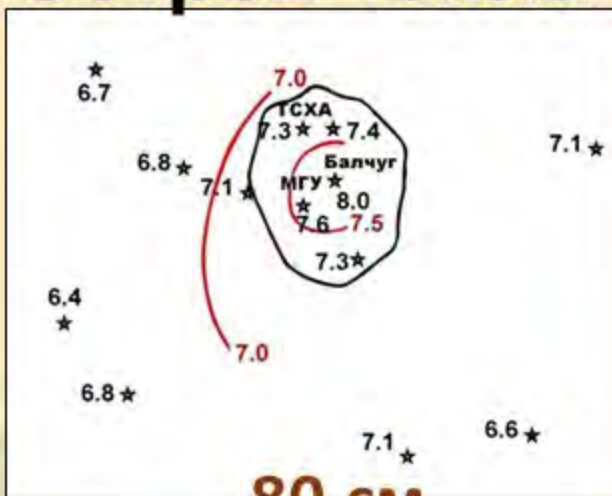
Жара 2010, Подмосковье, на кривой интегральной функции распределения вероятностей



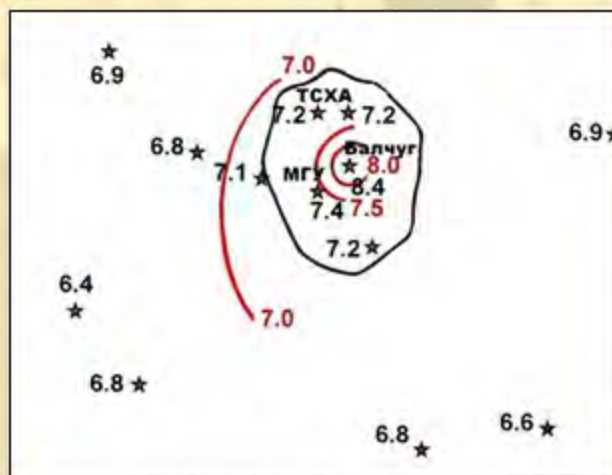
Остров тепла в грунте под Москвой



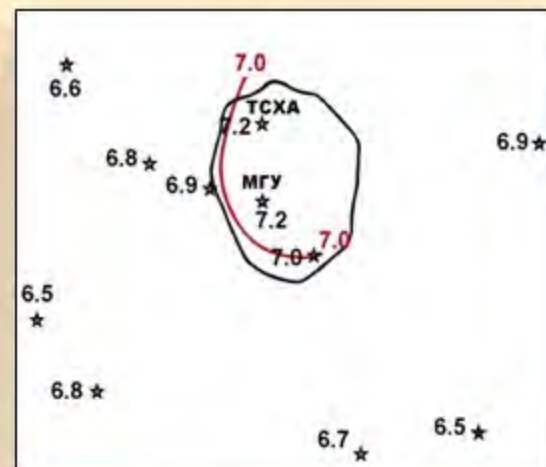
Глубина: 40 см



80 см



160 см

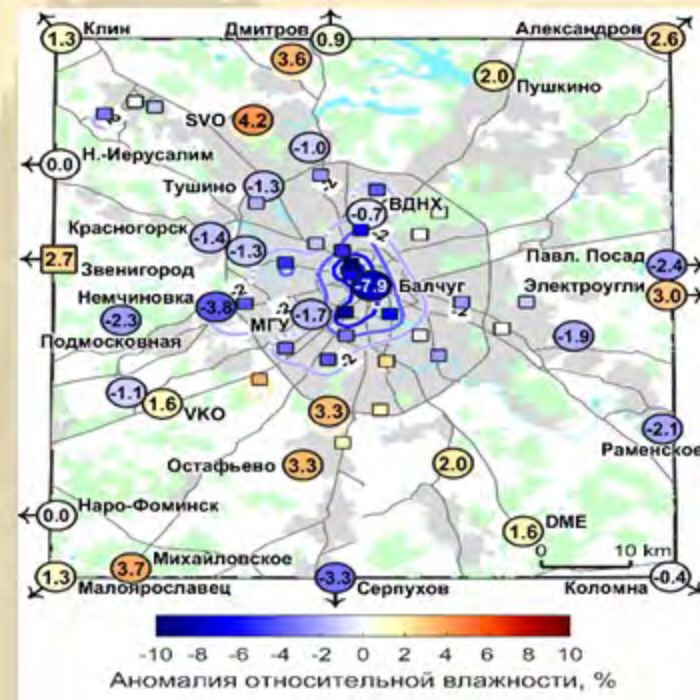
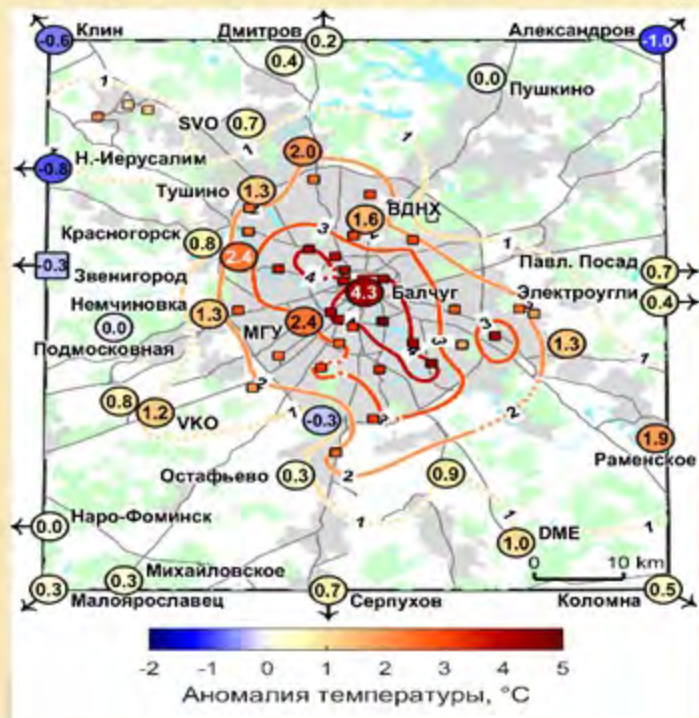


320 см



Ход среднегодовых значений температуры грунта в МГУ и на станции Подмосковная на глубине 160 см

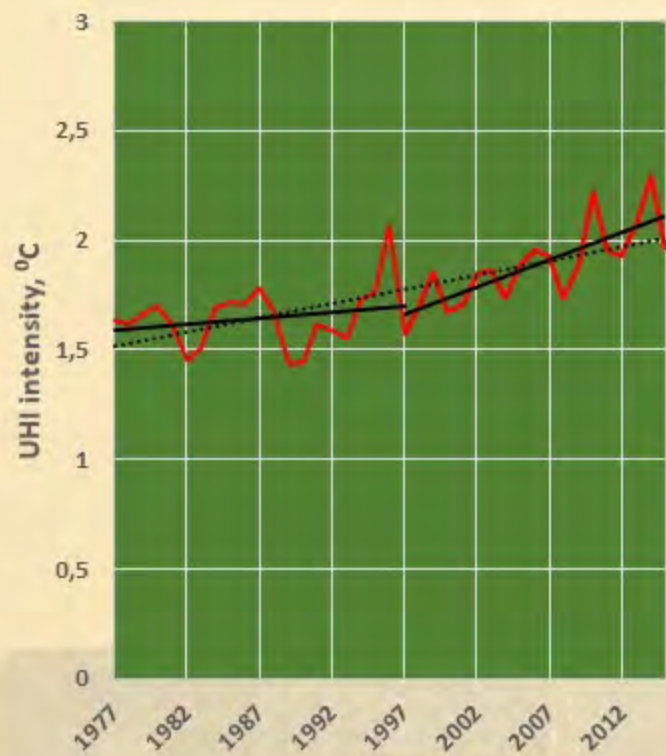
Атмосферный остров тепла и остров сухости (по данным измерений в приземном слое, 2015 г.)



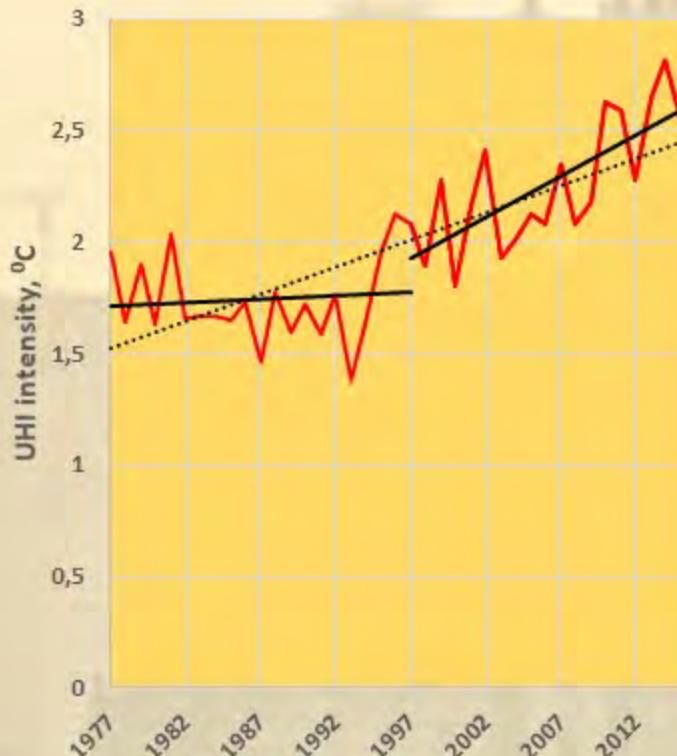
Пространственное распределение средних за летний сезон ночных (за 0 UTC) аномалий температуры по данным метеостанций и АМС (круглые маркеры) и АСКЗА (квадратные маркеры). Изолинии проведены через 1 °C.

Пространственное распределение средних летних значений аномалии относительной влажности за 15 UTC (18 МСК). Линии равных аномалий проведены через 2%.

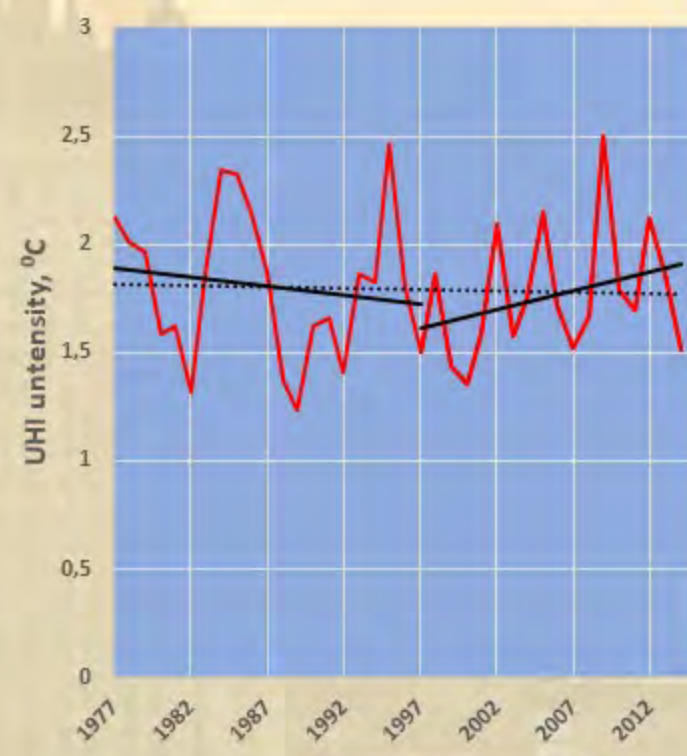
Ускорение в Московской агломерации глобального потепления



Средние за год



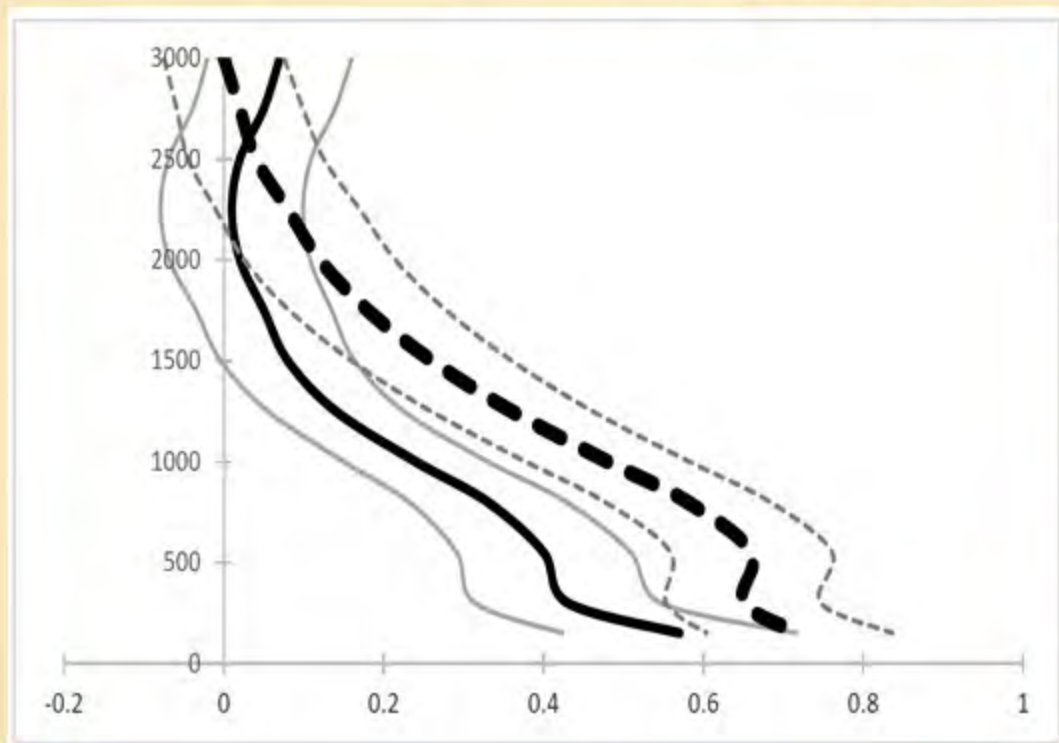
Лето



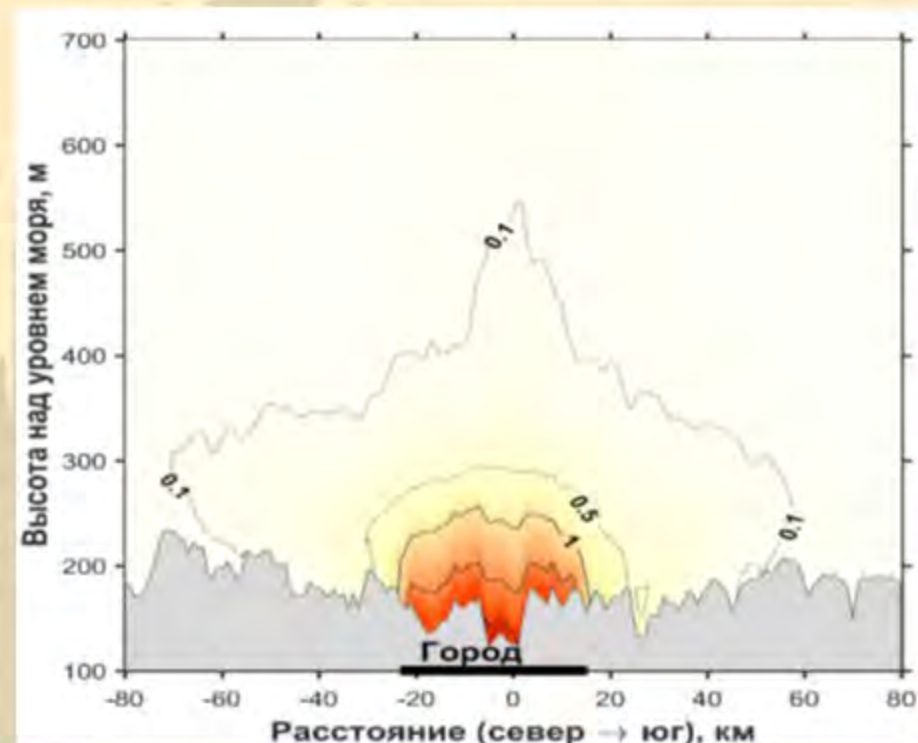
Зима

Интенсивность Острова Тепла (УИТ)=(Балчуг) минус (среднее по станциям: Наро-Фоминск, Серпухов, Коломна, Павловский Посад, Александров, Клин, Ново-Иерусалим, Малоярославец).

Атмосферный 3d остров тепла

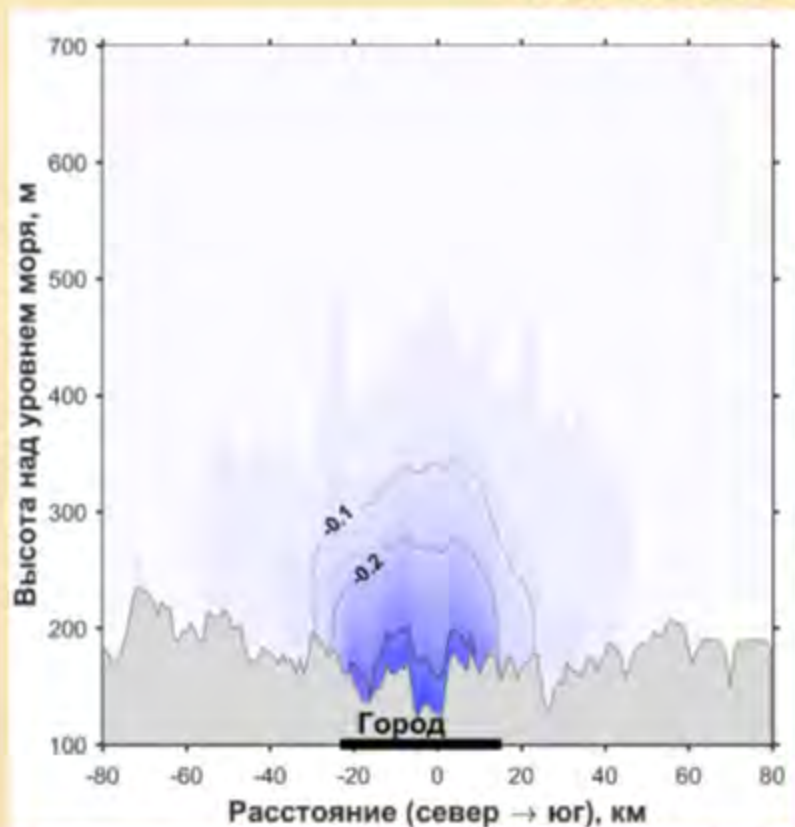


«Москва» минус «Подмосковье».
Разности T (вместе с доверительными интервалами). **Спутниковые** «утренние» и «вечерние» данные: МЕТОР А и В.

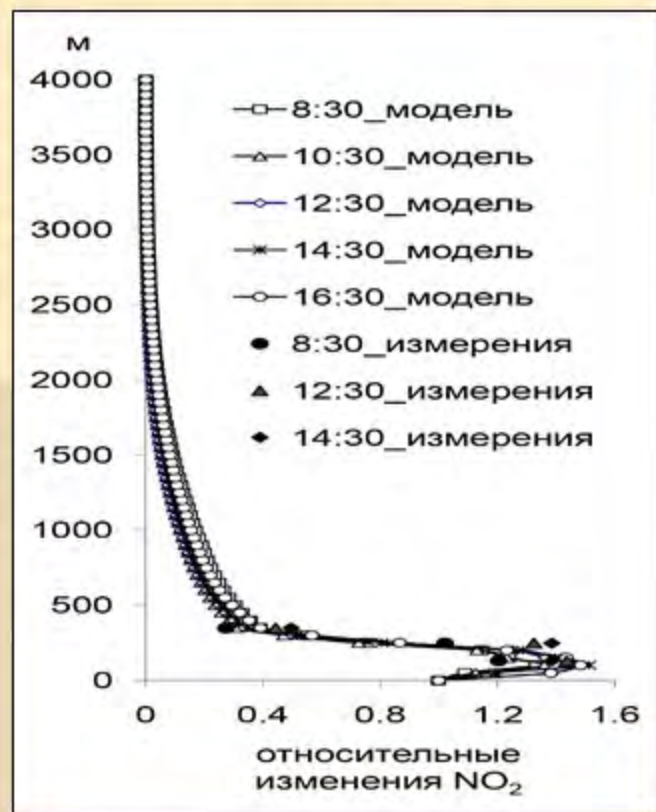


Вертикальный разрез с севера на юг через центр Москвы городской аномалии температуры ΔT для среднесуточных значений за лето 2014 г (за выборку дней с интенсивным ОТ). **Моделирование** COSMO-CLM.

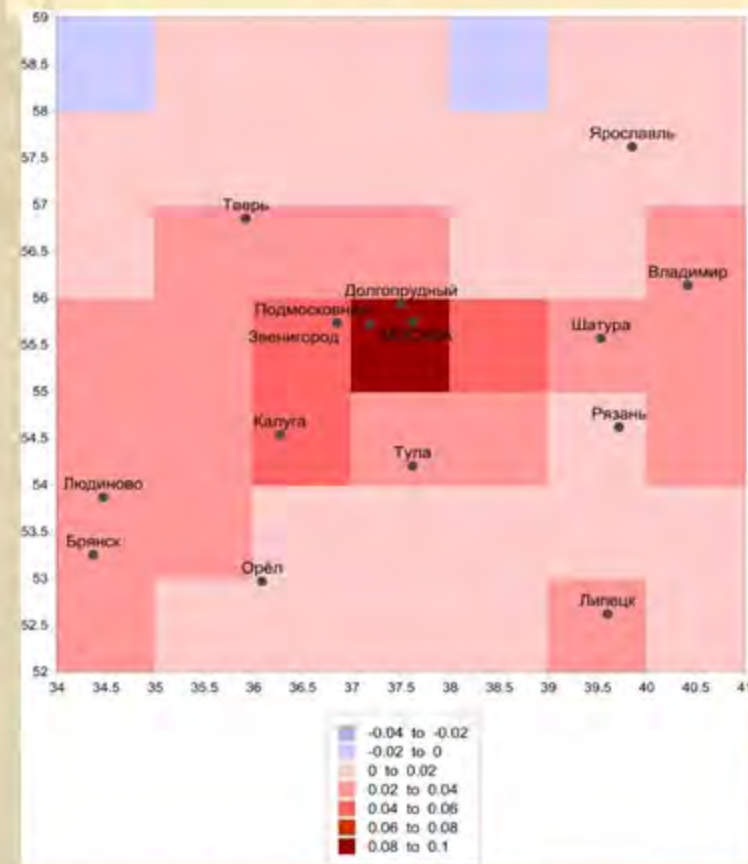
Атмосферный 3d остров сухости/влажности, газовых загрязнений, аэрозоля



Вертикальный разрез с севера на юг через центр Москвы городской аномалии удельной влажности (г/кг), для среднесуточных значений за лето 2014 г. COSMO-CLM.

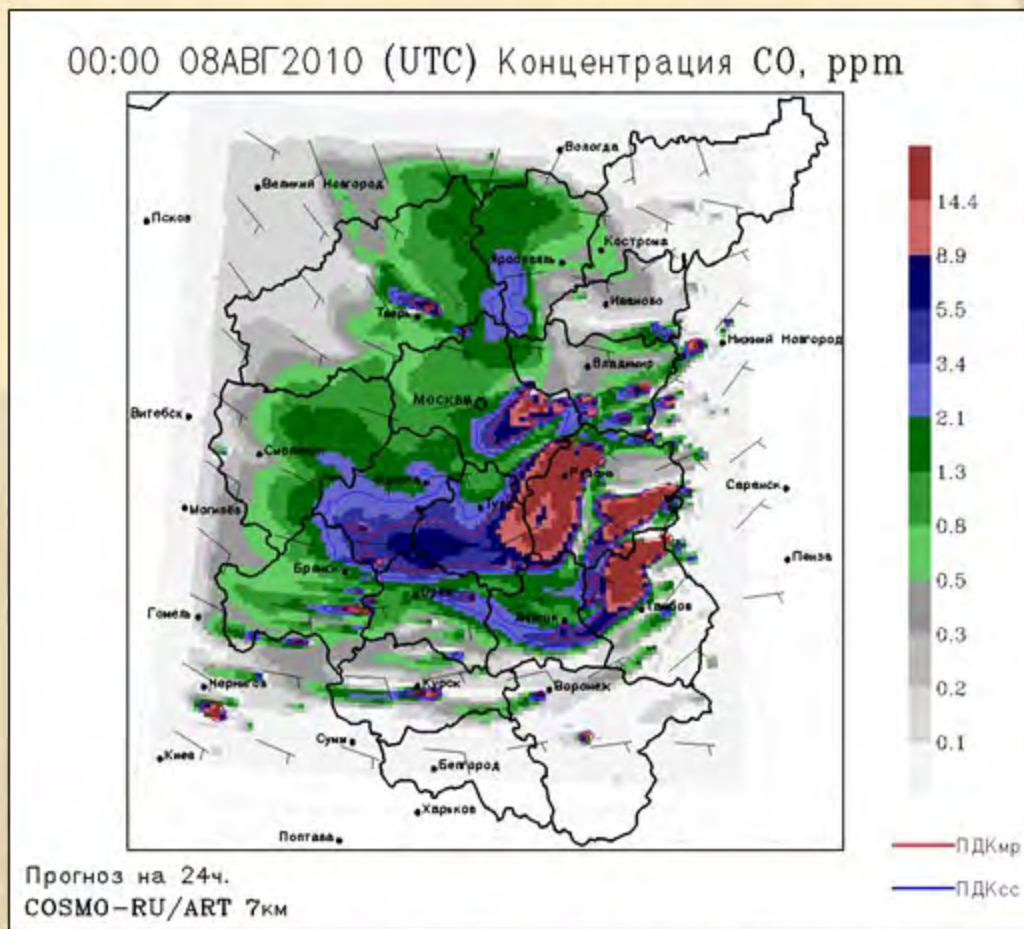


Профили для зимних условий.



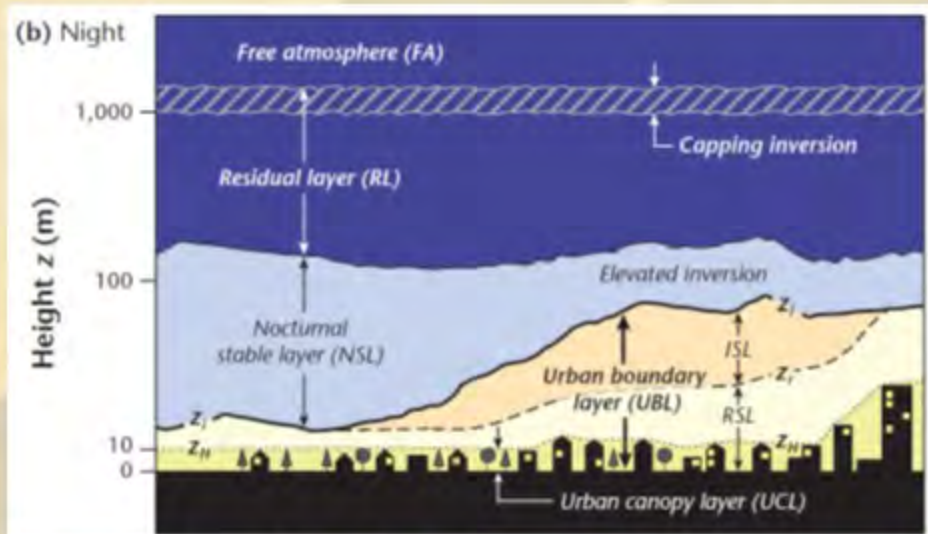
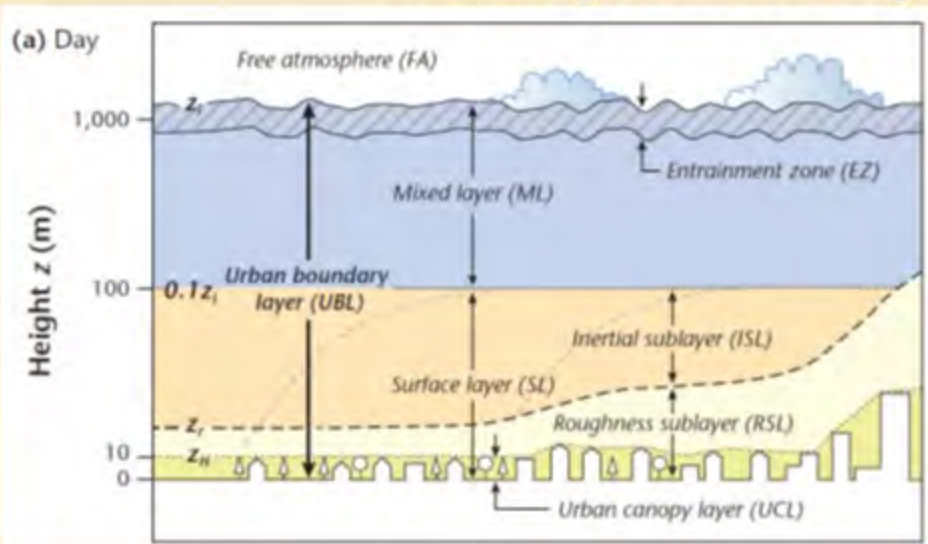
Аэрозольная оптическая толщина на 550 нм в теплый период года. MODIS. (Абсолютные значения малы!).

Динамика острова аэрозольного загрязнения



Исчезновение острова загрязнения: из-за переноса дыма от природных пожаров.
Прогноз концентрации угарного газа на 0:00 08.08. 2010. COSMO-ART.

К оценке возможностей моделирования: структура «острова» требует тонкого разрешения!

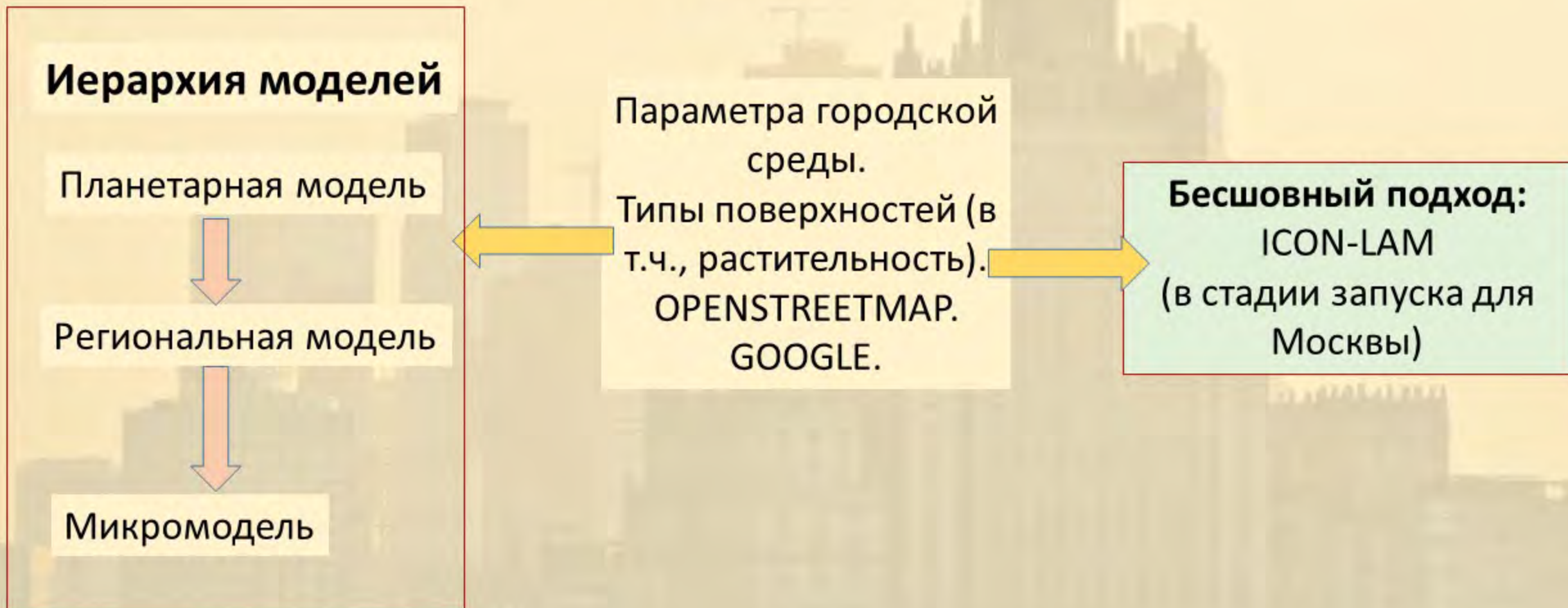


See Oke et al., 2017.

Имея лучшие спутниковые данные и результаты лучших многоуровневых мезо-моделей (COSMO, с 15 уровнями в нижнем 1.5 км) невозможно разрешить эти особенности.

«Остров» – как 3d объект!
«Остров» – продукт самоорганизации, когда из вклада отдельных множественных элементов (мезо-гамма) порождается новое качество – объект масштаба мезо-бета.

Моделирование метеорологического режима городской среды



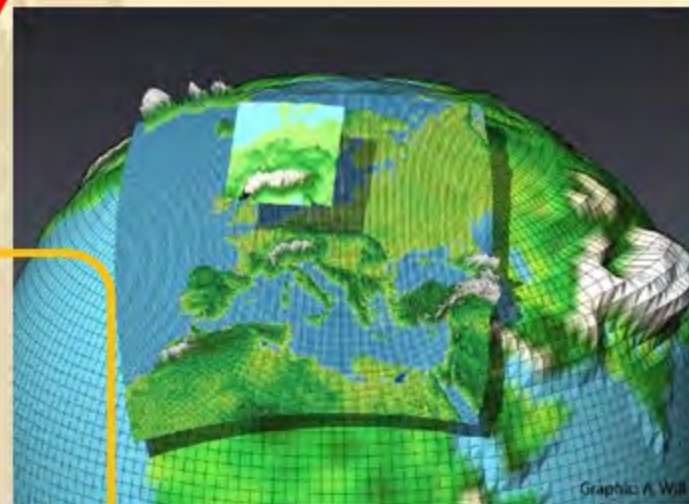
Модель COSMO для компьютерных экспериментов с детализированной структурой

COSMO-CLM: Climate Limited-area Model Community

COSMO-Ru7-ART: Atmosphere, Reaction, Transfer

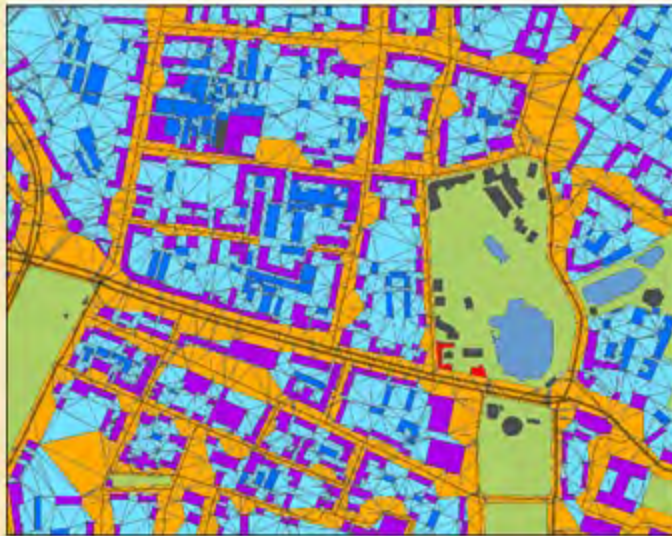
COSMO-CLM конфигурация

- Гидродинамическая модель (мезометеорологическая)
- Вложенная область от 13 км до 1 км (каждый домен примерно 120x120 счетных ячеек)
- Граничные условия для наиболее крупного домена: ERA-Interim
- Параметры поверхности (кроме городской среды) из Ecodlimar базы
- Параметры городской среды – авторская GIS, OPENSTREETMAP.
- Спектральный наджинг



Характеристики городской поверхности, вычисленные по данным, извлеченным из базы *OpenStreetMap*

Свойства поверхности

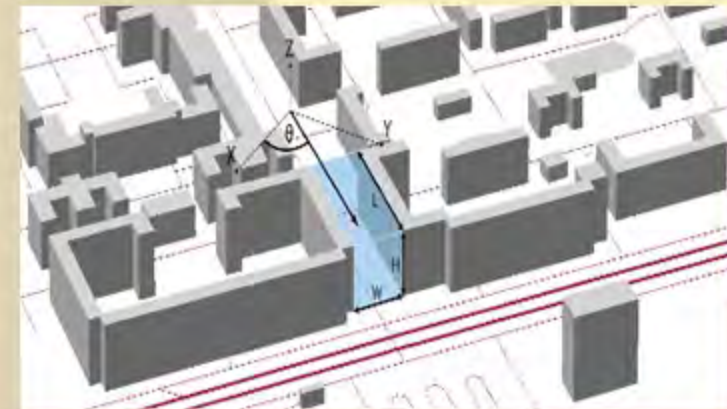


Зеленые зоны и городские каньоны: ориентированные (красный, коричневый, лиловый) и неориентированные (голубой).

Открытость горизонта (Sky view factor — SVF)

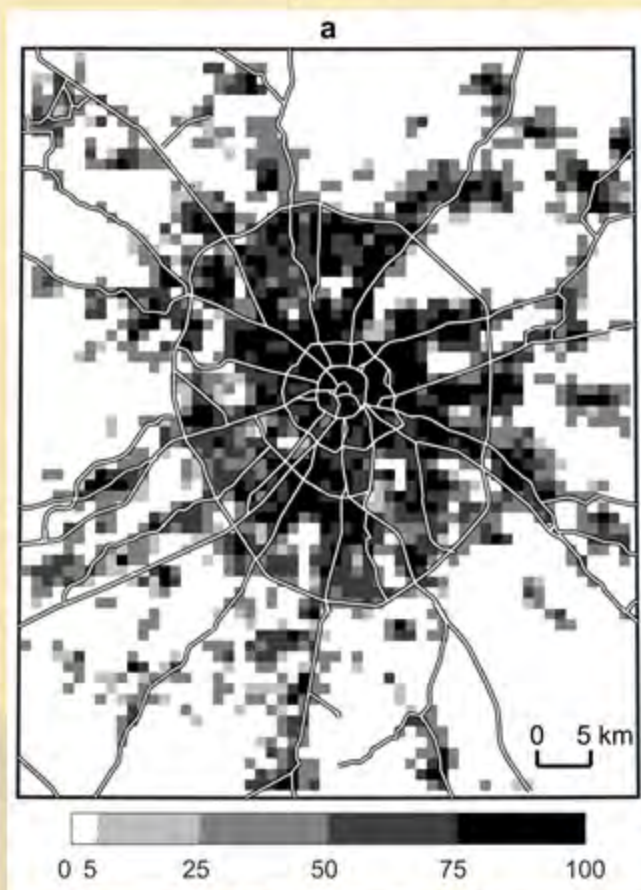


Городской каньон – базовый элемент параметризации городской среды



Ширина (W), высота (H), длина (L), направление (θ).

Расчеты характеристик городской поверхности на основе первичных данных базы OpenStreetMap



Доли урбанизированной территории в площади модельных ячеек (%)

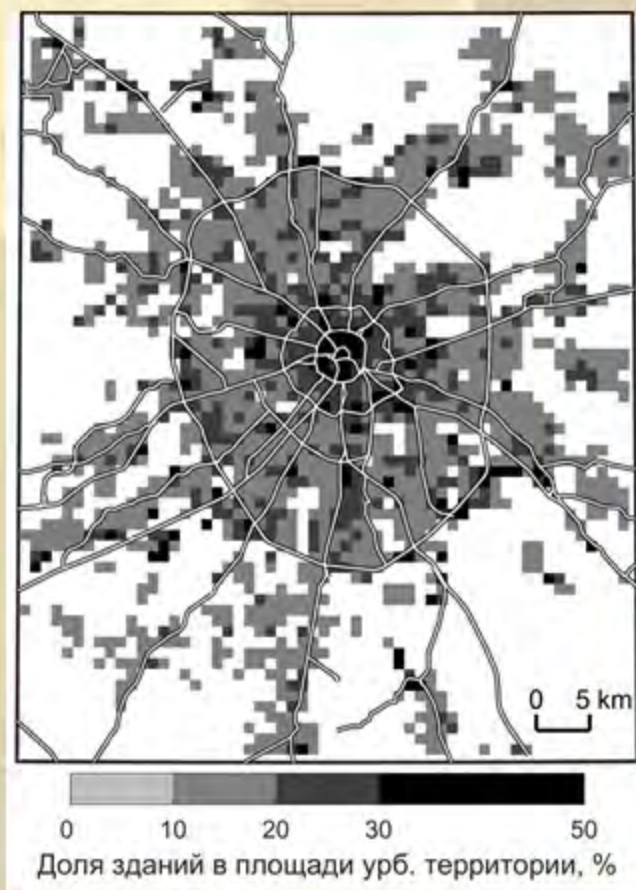
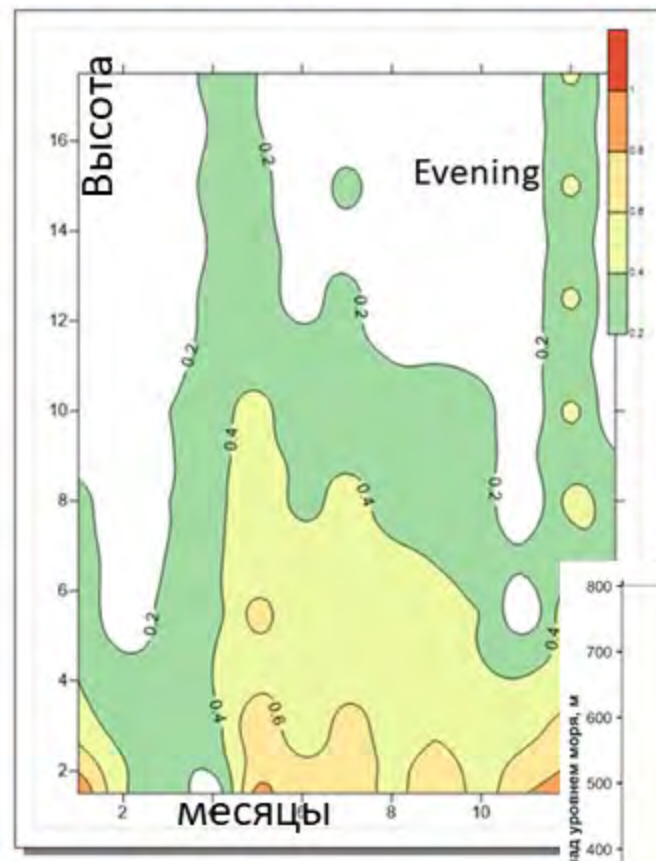
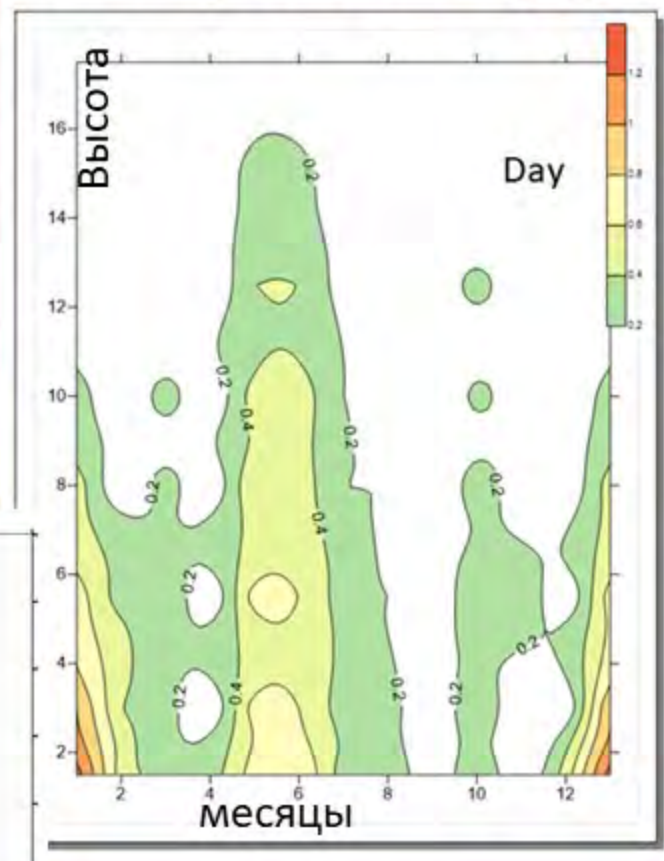


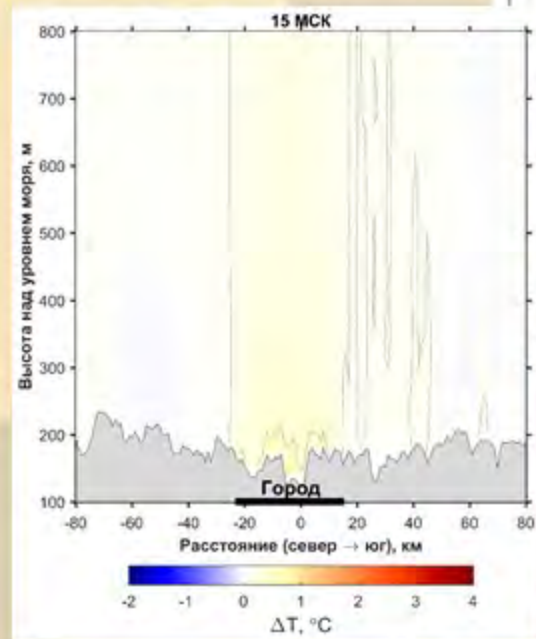
Фото с самолета

Трёхмерная структура острова тепла

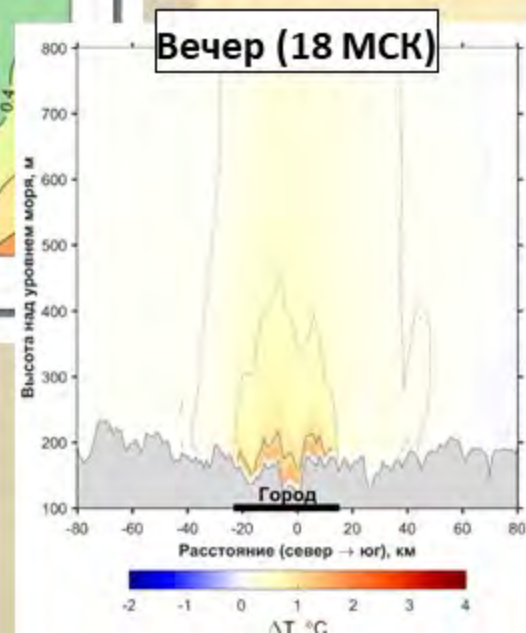
Моделирование
COSMO-CLM



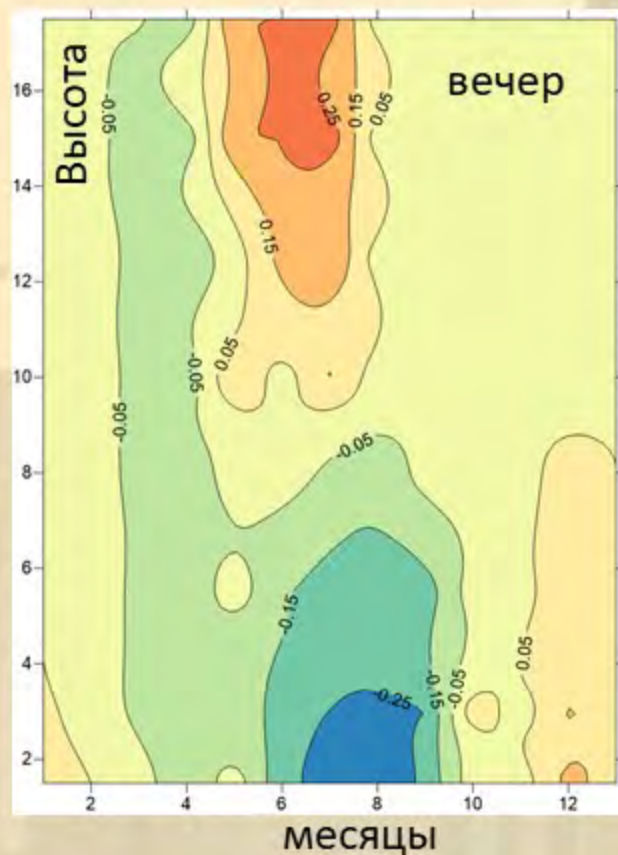
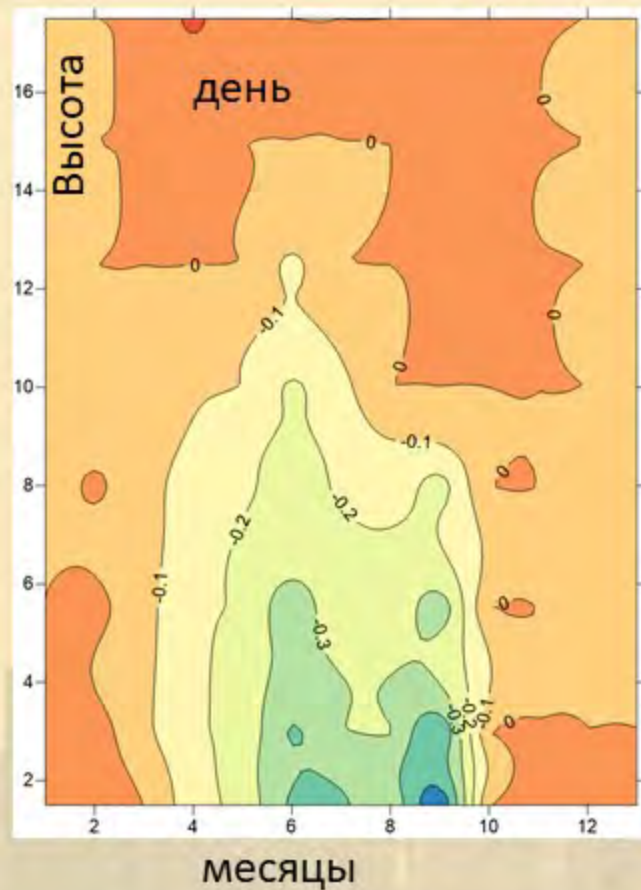
COSMO-CLM



Спутники MetOP A B

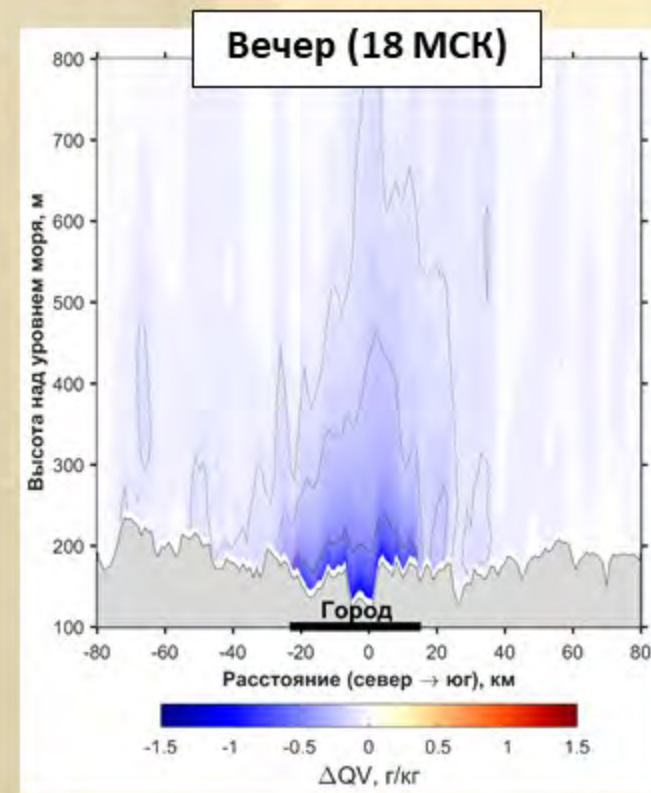


Трёхмерная структура острова сухости/влажности (удельная влажность, г/кг)



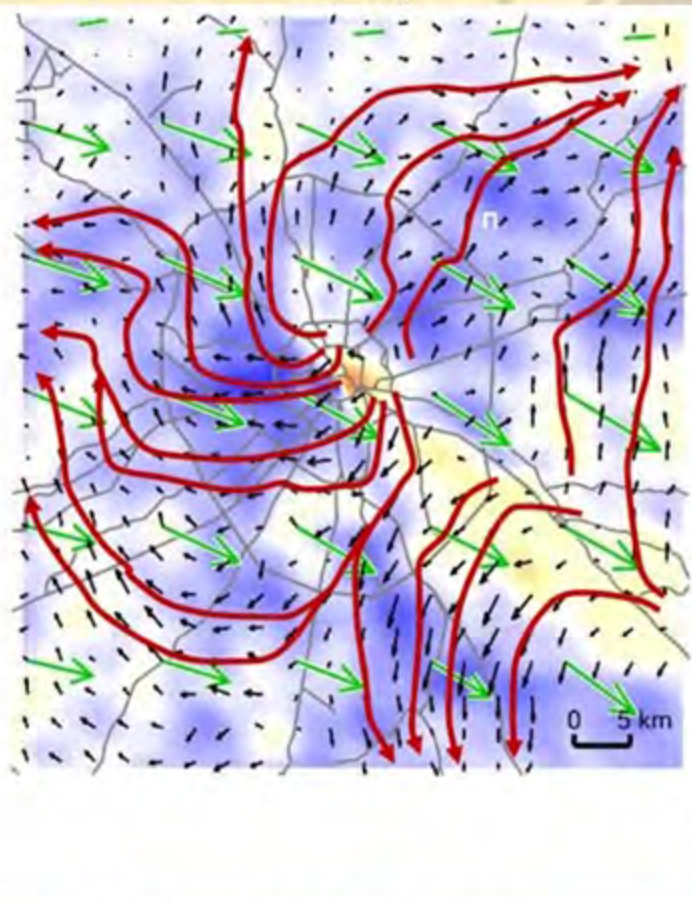
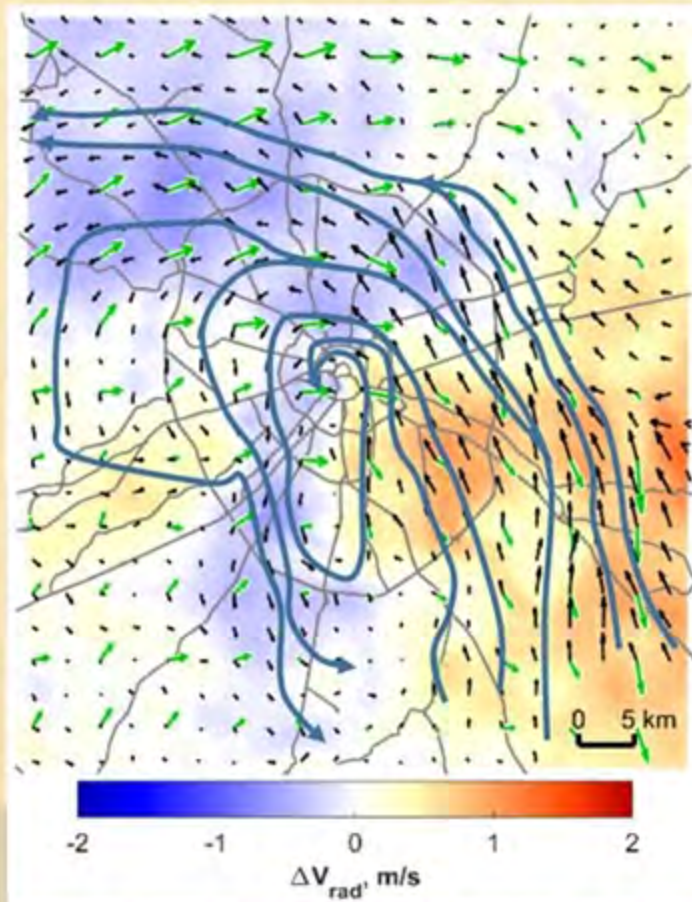
Спутники MetOP A B

COSMO-CLM

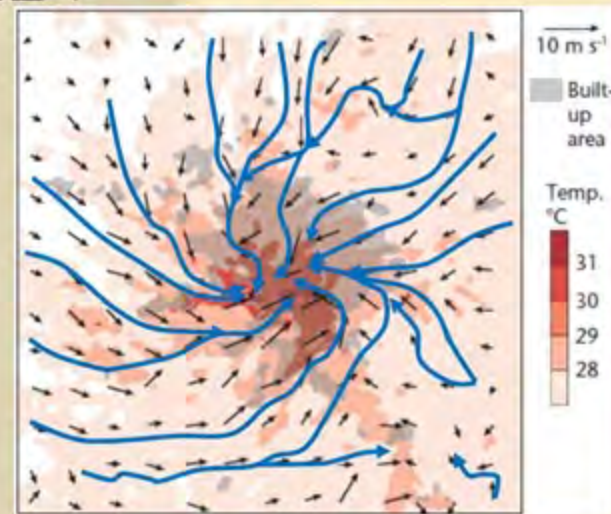


Циклоническая/антициклоническая циркуляция атмосферы над Москвой и городской бриз

Циклоническая завихренность \leftarrow а) реакция на остров тепла $\frac{\partial \xi}{\partial t} \propto -\nabla^2 H$; б) трение повышено над городом



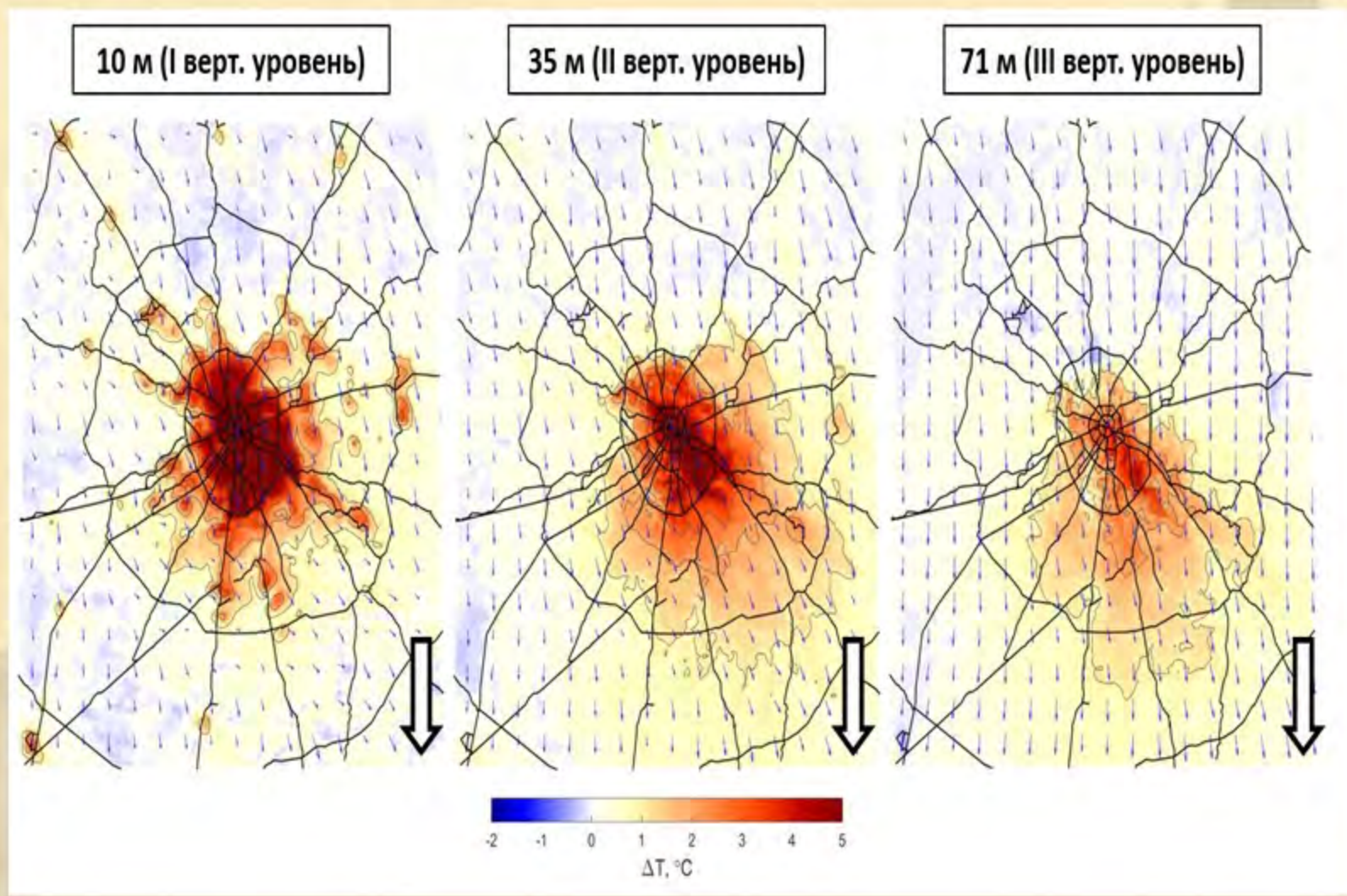
/Зеленые стрелки - ветер по данным эксперимента "noURB"/



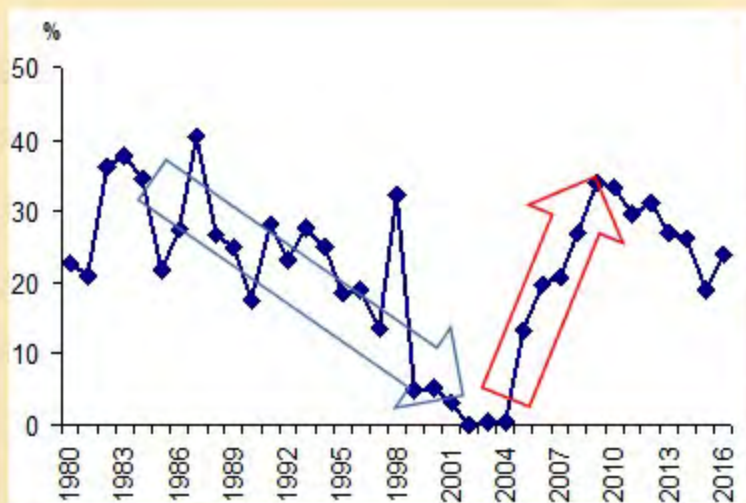
The simulated fields at 200 m above groundn. Paris, France on July 12, 1994 at 1500 h local time. See Oke et al., 2017.

Линии тока, 120 м. Лето 2014 г. Ночь. 1700 м. COSMO-CLM.

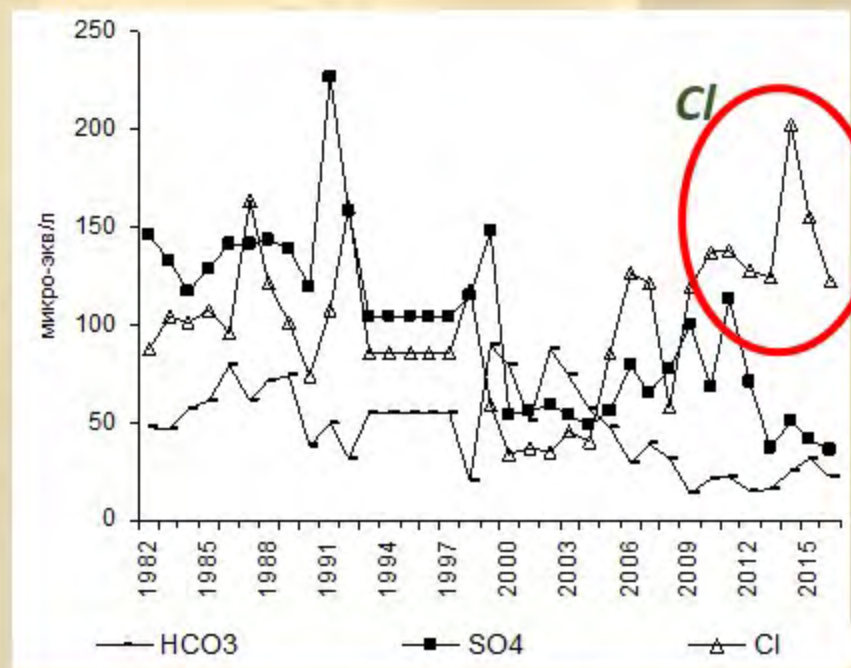
Циркуляция атмосферы: тепловые шлейфы от города



Динамика химического состава осадков: связана с деятельностью городских служб



Повторяемость кислотных проб осадков (с $\text{pH} < 5,0$)



Эффекты, не связанные с потеплением

Изменчивость средних годовых значений анионов



Заключение

- На фоне сигнала глобального потепления выявлен тренд интенсификации острова тепла и острова сухости Московской агломерации.
- Ряд трендов (динамика кислотности осадков, содержания аэрозолей, изотопного состава кислорода/водорода и др.) не связаны с глобальным потеплением.
- Урбанистические аномалии температуры, влажности и скорости ветра распространяются на сотни метров вверх и на десятки километров за пределы Москвы. Создается мезоструктура со своей циркуляцией.
- Предложена методика моделирования метеорологического режима Московской агломерации на многолетних временных масштабах с использованием модели COSMO-CLM и оригинальной технологии анализа картографических данных OPENSTREETMAP.



Монография: «Климат Москвы в условиях глобального потепления»: / Под редакцией А.В. Кислова. – М.: Издательство Московского университета, 2017. – 288 с.

Авторы

