



«Методология городской интегрированной системы климатического обслуживания для российских городов»



Профессор Александр Бакланов

Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ),
Лаборатория Интегрированного Моделирования Атмосферы (ЛИМА) & Региональный учебный центр ВМО
Главный редактор журнала «Городской климат»

Email: aabaklanov@yahoo.com

& на основе > 10-летней работы во Всемирной метеорологической организации (ВМО) ООН и текущей работы ЛИМА РГГМУ (см. инфо на слайдах)



ФОРУМ И ВЫСТАВКА
ПОГОДА • КЛИМАТ • ВОДА
ДИСТАНЦИОННОЕ
ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ
ЗЕЛЁНАЯ ЭКОНОМИКА

Россия • Санкт-Петербург • 29–31 октября 2024



Суть и ключевые моменты презентации

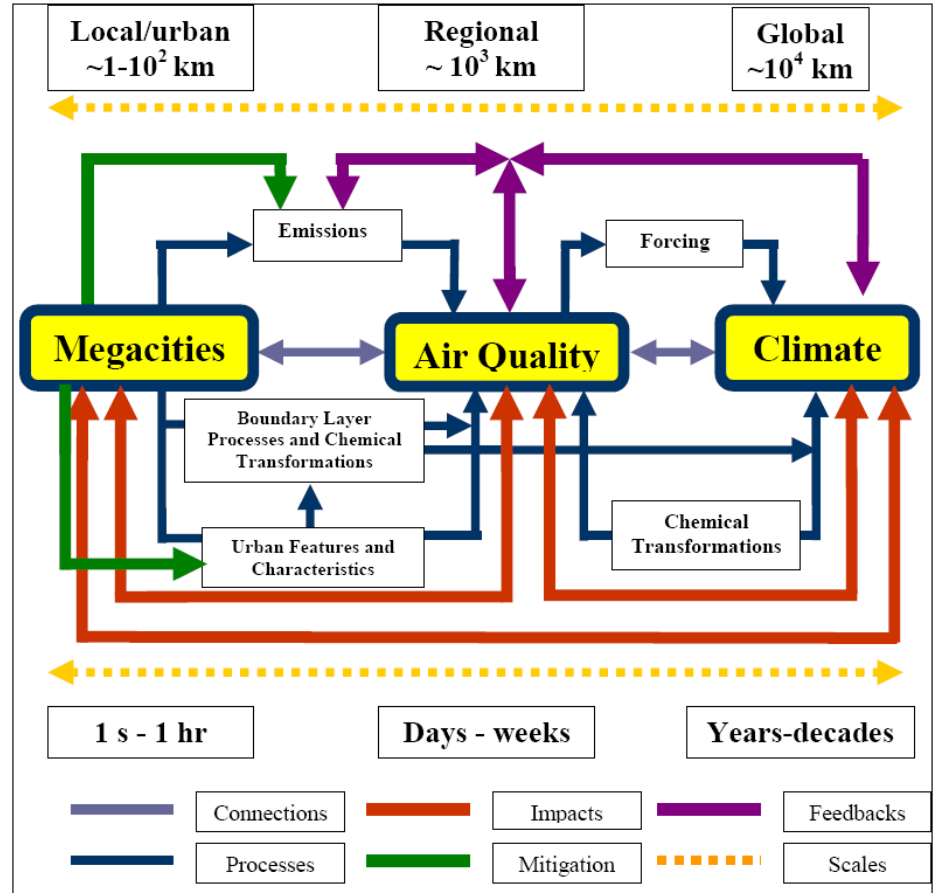
- Стремительная урбанизация в сочетании с климатическими и экологическими изменениями обуславливает необходимость создания новых видов городских услуг для городов, заботящихся об окружающей среде и климате
- Современная эволюция исследований и разработок от отдельных систем метео- и эко-мониторинга в городах ведет к системам раннего предупреждения о множественных опасностях и далее к интегрированным городским системам и сервисам
- Предлагает новую концепцию и подход к комплексному городскому гидро-метеорологическому, климатическому и экологическому обслуживанию (IUS) на примере ряда городов мира: Дели, Гонконга, Мексико, Москвы, Парижа, Пекина, Сингапура, Стокгольма, Торонто, Шанхая
- Анализирует специфику российских городов и предлагает концепцию создания таких IUS на примере Санкт-Петербурга
- Это обзор совместных результатов крупных международных проектных команд UN U4SSC, WMO GURME, IUS, IUS4CRC и EU FP FUMAREX, MEGAPOLI, MarcoPolo, PEEH, FOCI, IMTEX, и текущей работы ЛИМА РГГМУ команды.



Прогнозирование городских погоды и качества воздуха: UAQIFS

- Первые запросы на **урбанизацию метеорологических моделей** поступили от специалистов по прогнозированию качества воздуха в городах (Masson, 2000, Martilli et al, 2002, Baklanov et al, 2002)
- Для изучения этих вопросов был инициирован ряд недавних и предыдущих международных исследований. В частности, продемонстрирован соответствующий опыт европейских проектов COST715, FUMAPEX, MEGAPOLI, MACC, MarcoPolo, PEEH.
- FUMAPEX** впервые разработала комплексную систему, охватывающую выбросы, городскую метеорологию и воздействие на население для прогнозирования эпизодов загрязнения воздуха в городах, для оценки качества городского воздуха и воздействия на здоровье, а также для решения вопросов готовности к чрезвычайным ситуациям в городских районах (**UAQIFS: Система прогнозирования и информации о погоде и качестве воздуха в городах**; Baklanov, 2006; Baklanov et al., 2007).
- Исследования **MEGAPOLI** были направлены на оценку воздействия мегаполисов на местное, региональное и глобальное качество воздуха; количественно оценить механизмы обратной связи, связывающие качество воздуха в мегаполисах, местный и региональный климат и глобальное изменение климата; а также разработать усовершенствованные инструменты для прогнозирования (Baklanov et al., 2010, 2016).

Взаимодействие между мегаполисами, погодой и климатом



Основные цепочки взаимодействий: экосистема, здоровье, смягчение последствий, адаптация

Nature, 455, 142-143 (2008)



Опасности и риски в городской среде:

- Плохое качество воздуха и пиковые эпизоды загрязнения
- Экстремальные волны жары/холода и тепловой стресс человека
- Ураганы, тайфуны, экстремальные местные ветры
- Лесные пожары и смог, песчаные и пыльные бури
- Городские наводнения, штормовые нагоны
- Повышение уровня моря из-за изменения климата
- Устойчивость энергетики, транспорта и водных ресурсов
- Проблемы со здоровьем населения, вызванные предыдущими
- Изменение климата: 70% выбросов парниковых газов приходится на города
- **Эффект домино:** одно экстремальное явление может привести к новым опасностям и масштабному разрушению городской инфраструктуры



Схема «домино»-эффекта на примере тайфунов



Последующая эволюция: к системам раннего предупреждения о множественных опасностях (EarlyWarning4All)

- Несмотря на то, что были достигнуты успехи, необходимы новые **междисциплинарные исследования**, чтобы улучшить наше понимание взаимодействия между выбросами, качеством воздуха, региональным и глобальным климатом.
- Исследования должны быть направлены как на фундаментальные, так и на прикладные исследования и **связывать пространственные и временные масштабы, местные выбросы, качество воздуха и погоду с климатом** и глобальным химическим составом атмосферы.
- **ВМО** учредила проект Глобальной службы атмосферы (ГСА) «**исследования городской метеорологии и окружающей среды**» (GURME), который вносит вклад в исследования интегрированных городских систем.
- Одними из первых пилотных проектов были **Шанхай и Москва**.



Шанхайская система раннего предупреждения о множественных опасностях (MNEWS) (SMB/CMA)



ВМО для новой Программы ООН в области развития городов



WORLD
METEOROLOGICAL
ORGANIZATION



- Взаимодействие климата, качества воздуха и мегаполисов: пробелы в знаниях, потребности в исследованиях.
- Опасности в городах: эпизоды загрязнения, штормовые нагоны, наводнения, волны жары, здоровье населения.
- Глобальное изменение климата влияет на климат, окружающую среду и комфорт мегаполисов.
- Растущая урбанизация требует комплексных систем мониторинга погоды, окружающей среды и климата в городах (IUS).
- Необходимо новое поколение многомасштабных моделей и бесшовных интегрированных городских услуг.
- Бесшовный подход от исследований к услугам
- Руководство и рекомендации для IUS

**Резолюция 9.8 17-го Всемирного метеорологического конгресса (2015 г.):
Создание сквозной программы ВМО по городскому обслуживанию**

Цель: Научно обоснованное интегрированное городское гидрометеорологическое, экологическое и климатическое обслуживание (IUS) для устойчивых городов

ВМО: К климатически умным, устойчивым и здоровым городам

WMO Guidance on Integrated Urban Services (IUS):



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOAL 11

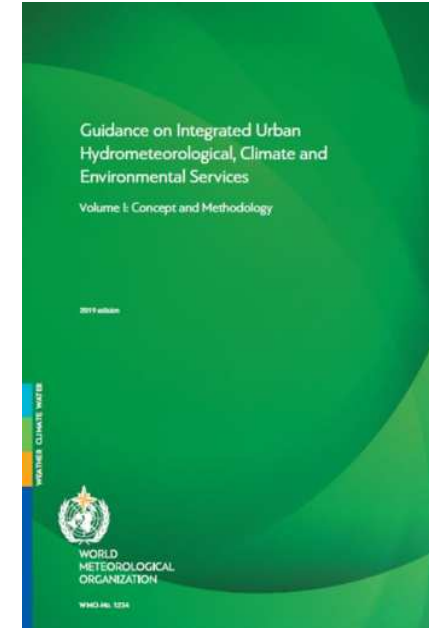
Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable

Resilient

Sustainable

Multi-Hazard Early Warning Systems for Weather, Hydrology, Air Quality at Urban Scales

Long Term Planning
Climate Services for Weather, Hydrology and Air Quality at Urban Scales



- 90% бедствий для городских территорий носят гидрометеорологический характер
- => **Увеличение с изменением климата**
- 70% выбросов парниковых газов, производимых городами
- Сильная обратная связь
- => **Две фазы не следует рассматривать отдельно**
- Острая необходимость комплексного подхода к проблеме с учетом взаимосвязи изменения климата и снижения риска бедствий для городских районов
- **Смягчение последствий, адаптация, раннее предупреждение - это взаимосвязанные вопросы**

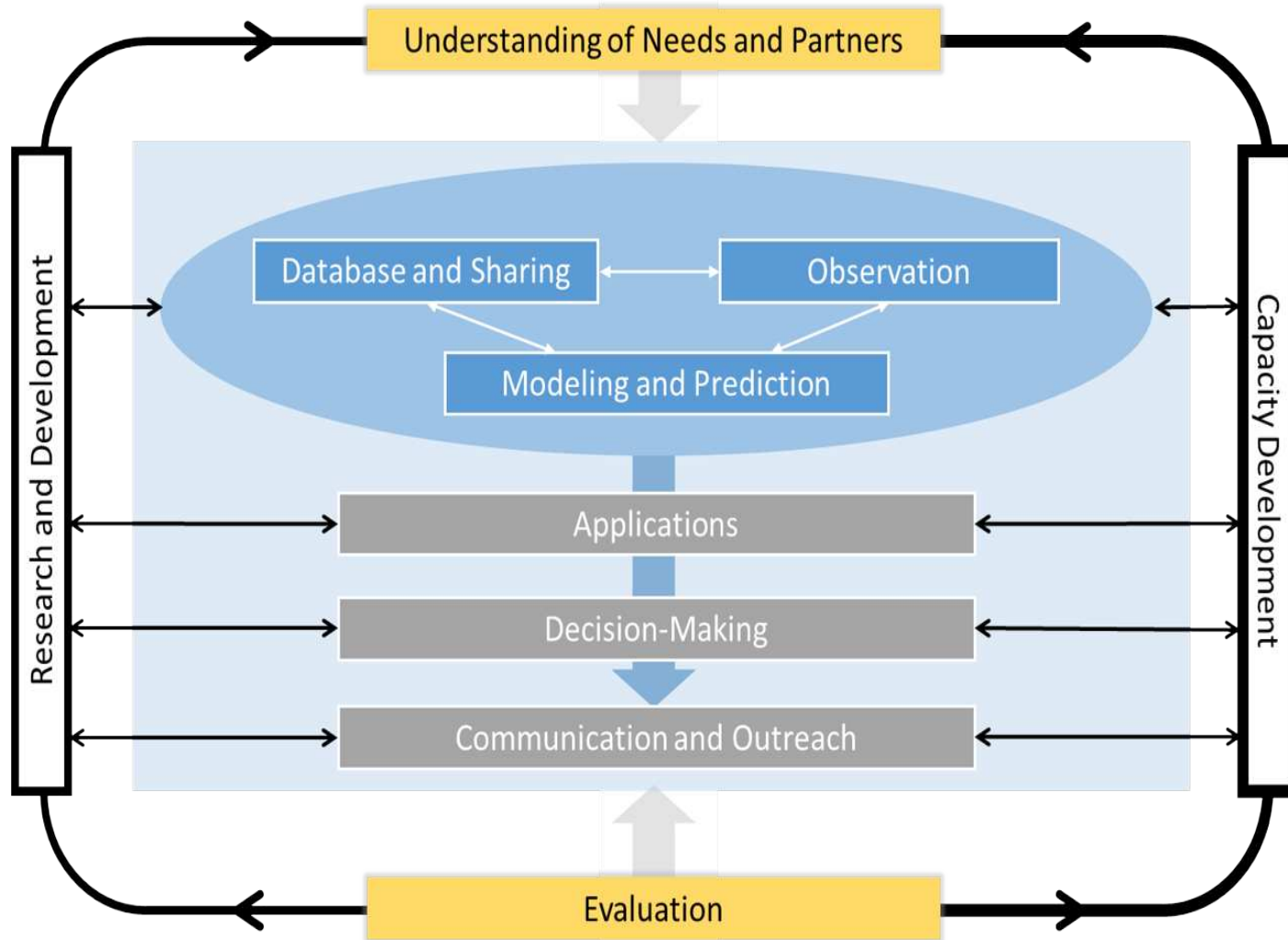
Преимущества IUS - Useful, Usable, Used

1. Устойчивость за счет систем раннего оповещения о множественных опасностях
2. Устойчивость за счет долгосрочного городского планирования
3. Возможности и емкость за счет сквозных услуг
4. Эффективность за счет сквозных услуг инфраструктуры
5. Согласованность (следовательно, эффективность и действенность) за счет интеграции
6. Эффективное обслуживание за счет партнерств/коммуникации

CityIPCC 4 cities best IUS studies: [Baklanov et al., 2020](#)

Рассматривается 30 городов, но НЕТ арктических городов

Компоненты разработки Интегрированной городской системы и службы (IUS) для климатически умных устойчивых городов



Основное внимание уделяется совершенствованию и интеграции следующих основных элементов и подсистем IUS:

- **Погода** (особенно прогнозирование погоды с сильным влиянием в городском масштабе),
- **Климат** (городской климат, экстремальные климатические явления, отраслевые климатические индексы, климатические прогнозы, управление климатическими рисками и адаптация),
- **Гидрология** и опасные явления, связанные с водой (внезапные разливы рек, сильные осадки, уровень воды в реках, районы затопления, штормовые приливы, повышение уровня моря, городская гидрология),
- **Качество воздуха** (качество воздуха в городах и другие крупномасштабные опасности: пыльные бури, лесные пожары, смог и т. д.)

Эта новая концепция IUS для климатически и экологически умных городов включает в себя:

- плотные сети наблюдения,
- прогнозы и оценки с высоким разрешением,
- системы раннего предупреждения о различных опасностях,
- Климатическое обслуживание.

Шаги по развитию интегрированной городской системы





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

3.2 Крупные города России

П. И. Константинов, М. И. Варенцов,
А. А. Бакланов



ТРЕТИЙ ОЦЕНОЧНЫЙ ДОКЛАД

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

| ОБЩЕЕ РЕЗЮМЕ

2022

Особенности последствий ИК для городов РФ:

- Большой **спектр природных условий**: от Арктики до пустынь
- рост **засух** в одних регионах, экстрем осадков, **наводнений** в других
- **деградация многолетней мерзлоты** с ущербом для строений и коммуникаций
- увеличение расходов **электроэнергии на кондиционирование** воздуха в летний сезон для значительной территории страны
- уменьшение долговечности зданий, дорог и конструкций
- ухудшение **качества теплоснабжения** вследствие кратковременных изменений температуры воздуха и учащения оттепелей зимой
- рост **рисков аварий** на ЛЭП (разрыв проводов и разрушение опор) и аварий на дорогах из-за **гололедицы**
- возрастание частоты и высоты **заторных наводнений** в северных регионах страны и уменьшение частоты весенних наводнений, вызванных снеготаянием, на юго-западе;
- увеличение частоты и высоты **нагонных наводнений** в устьях рек, прежде всего в устье Невы
- **комбинация отрицательных и положительные последствий** изменения климата в разных регионах
- **Арктика**: улучшит Т-комфорт, интерес к северной урбанизации, увеличение С/Х, продолжительности навигации по Северному морскому пути
- **Другие решения по адаптации и устойчивому развитию для зимних городов** в отличии от средних и низких широт

Москва - демонстрационный город реализации интегрированной городской системы (IUS)

- **Пилотный проект ВМО GURME для Москвы (2004):**

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА

- Демонстрационный проект, посвященный измерениям и моделированию связей между погодой, качеством воздуха и климатом для окружающей среды Москвы.

- **EU FP7 MEGAPOLI & RF MEGAPOLIS projects (2008-11):**

Мегаполисы: выбросы, городская, региональная и глобальная атмосферная ОС и климатические последствия, а также интегрированные инструменты для оценки и смягчения последствий

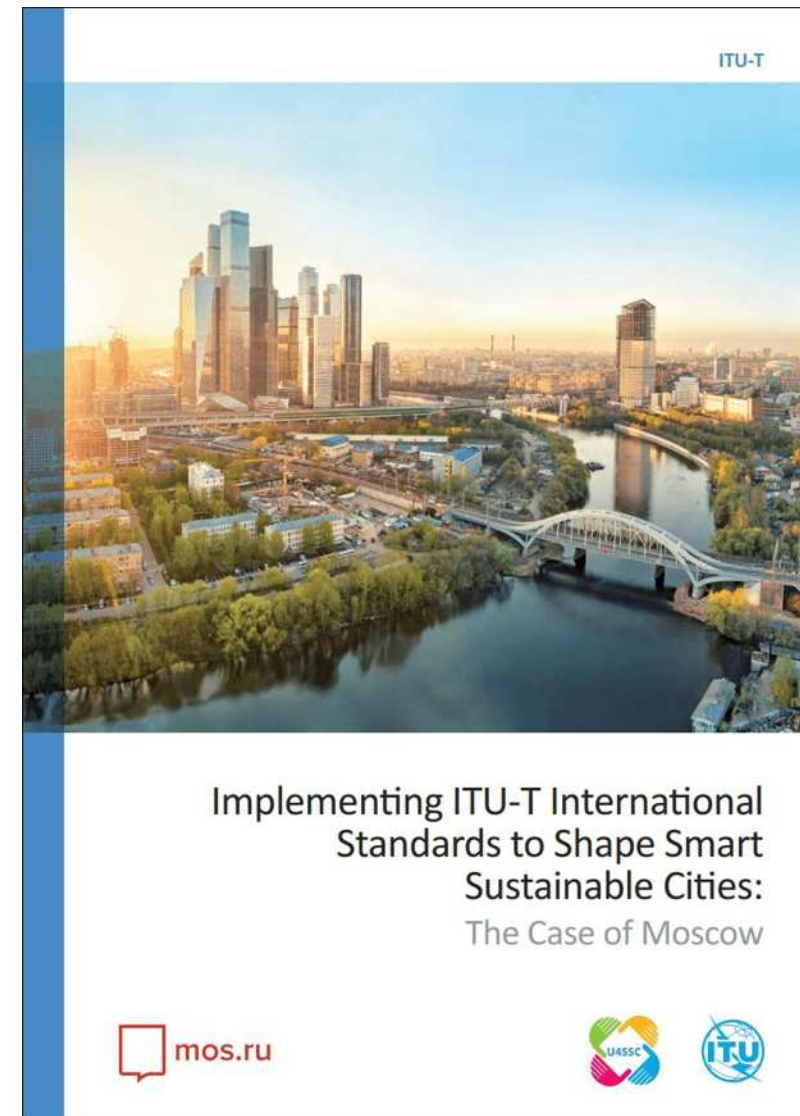
Цель российского проекта «Мегаполис» – разработка технологии комплексного анализа временных серий наземных данных для оценки состояния и динамики изменения атмосферы и окружающей среды в крупных городах (Москва).

- **Предложение ВМО к МЕЖДУНАРОДНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНИЦИАТИВЕ (2017):**

НАУЧНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И РУКОВОДСТВА МЕРОПРИЯТИЯМИ ПО СМЯГЧЕНИЮ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Страны внедрения: 1. Марокко, 2. Российская Федерация (Москва), 3. Южная Африка, 4. Китай, 5. Бразилия.

- **UN U4SSC: Москва получила сертификат успешной реализации международных ключевых показателей эффективности (KPI) для Smart Sustainable Cities (2019)**
- **ВМО: Москва рассматривается в качестве демонстрационного проекта IUS для умного города**



Критерии классификации и выбора структуры ИГС для различных городов

- **социально-экономическое состояние** (размер города, изолированность или агломерация, экономическое состояние (например, вклад в ВВП));
- **существующие природоохранные мероприятия** (принятый план действий по борьбе с изменением климата, деятельность неправительственных организаций и граждан, обязательства по смягчению последствий и адаптации, членство в сети типа C40 и т.д.)
- **уровень инфраструктуры** (например, транспорт и связь, управление окружающей средой, механизмы мониторинга и реагирования);
- **географическое положение**, включая континент, климатическую зону, классификацию погоды и положение в ландшафте (внутренний, прибрежный, горный, пустынный и т.д.);
- **структура управления, полномочия по выработке политики** (местные, региональные, национальные), путь ответственности за устранение городских опасностей, роль гидрометеорологической службы, схема управления общим водосбором;
- **типы/комбинации опасностей**, акцент на раннем предупреждении и/или долгосрочном планировании;
- **существующая практика** реализации комплексных городских услуг (две или более опасности/элементы интегрированы);
- **уровни интеграции**: наблюдение, инфраструктура, моделирование, принятие решений.

Возможная структура Интегрированного Городского Сервиса (ИГС) для Санкт Петербурга

Экстремальные погодные явления

- Шторм, ураган и штормовой нагон
- Гроза и молния
- Ливни, наводнения и оползни
- Волны жары и холода
- Засуха

Прогноз качества воздуха и ПГ

- Индекс здоровья качества воздуха
- Оценка эмиссии парниковых газов

Использование климатической информации

- Изменение климата
- Снижение риска бедствий
- Оценка городского климата

Оценка

(Некоторые примеры)

- Ветровая нагрузка на здания и инфраструктуру
- Проектирование береговых сооружений
- Дренажная система и безопасность на склонах
- Защита от молнии
- Тепловой комфорт и влияние на здоровье
- Потребность в энергии / экономия
- Водные ресурсы
- Обнаружение зон с высоким уровнем загрязнения воздуха
- Устойчивость городов и готовность к стихийным бедствиям
- Городской остров тепла
- Оценка вентиляции воздуха (ОВВ)

Примеры градостроительства и инфраструктурного строительства

- Стандарт проектирования и кодекс практики для зданий и инфраструктур (например, «Нормы ветровой защиты зданий», Генеральный план дренажа, Руководство по проектированию портовых работ и т. д.)
- Меры по смягчению последствий оползней естественного рельефа
- Дренажные тоннели и подземные резервуары для хранения ливневых вод
- Сине-зеленая инфраструктура
- Общая стратегия управления водными ресурсами
- Меры по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним
- Проектирование дорожных сетей и контроль плотности застройки
- Внедрение ОВВ и городской климатической карты в планирование новой застройки и реконструкции старых районов

Интегрированное городское моделирование для Санкт-Петербурга

Исследования с моделями COSMO-ART, WRF-Chem, EnviroHIRLAM

COSMO-ART&URB

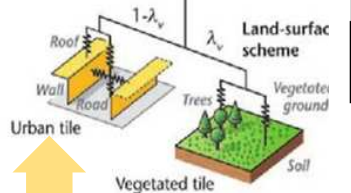
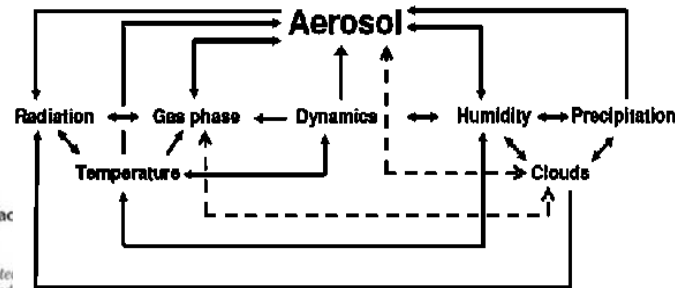
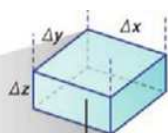
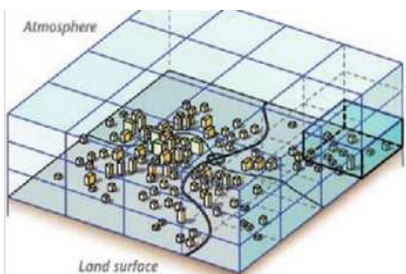
COnsortium for Small-scale
MOdelling

meteorology

Aerosols and Reactive
Trace gases

chemistry

on-line approach



Городская
параметризация
TERRA_URB

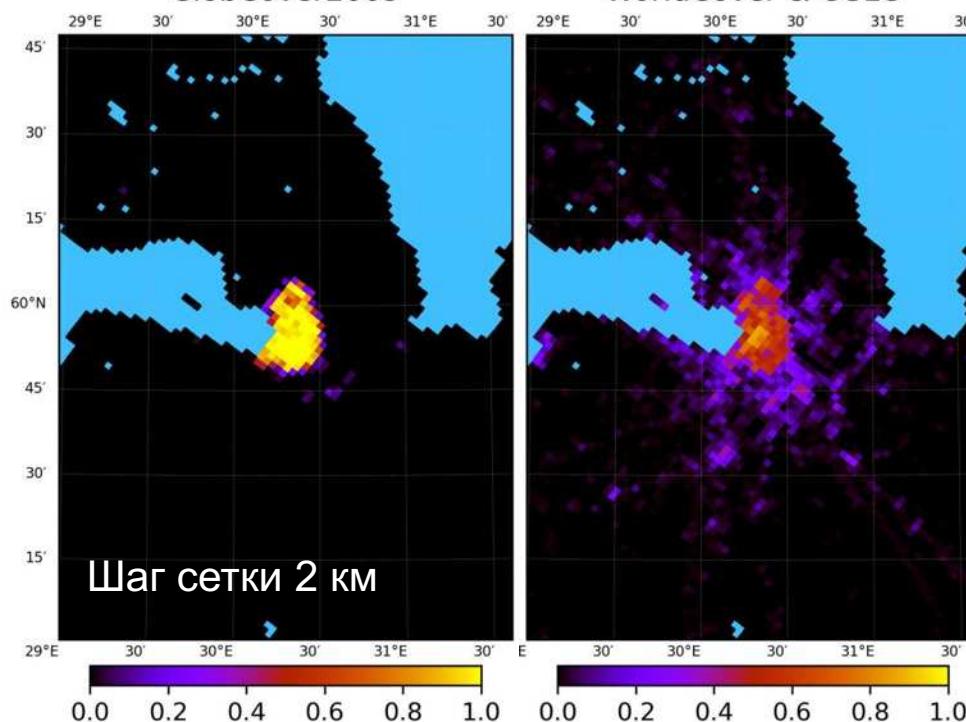
(Wouters et al., 2016)

Входные параметры городской среды

Версия COSMO 6.0 впервые позволяет использовать модули ART & URB одновременно, что ранее апробировано для Москвы (Chubarova et al., 2024)

GlobCover2009

WorldCover & CGLC



Шаг сетки 2 км

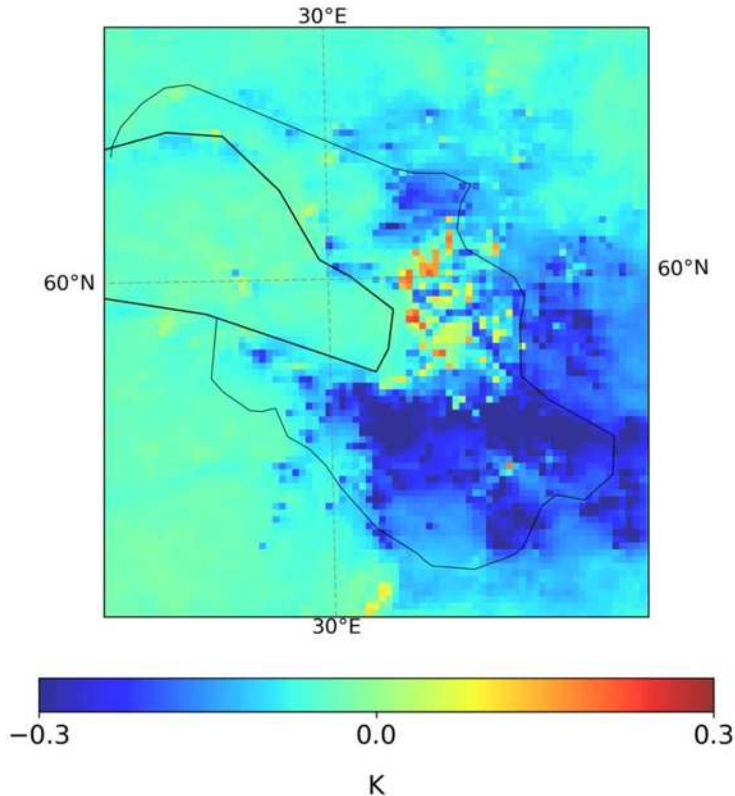
Пример уточнения входных параметров TERRA_URB на основе новых детализированных баз данных. Слева – доля площади запечатанной поверхности, заданная по умолчанию, справа – уточненные данные.

Моделирование состояния нижней атмосферы на территории Санкт-Петербурга

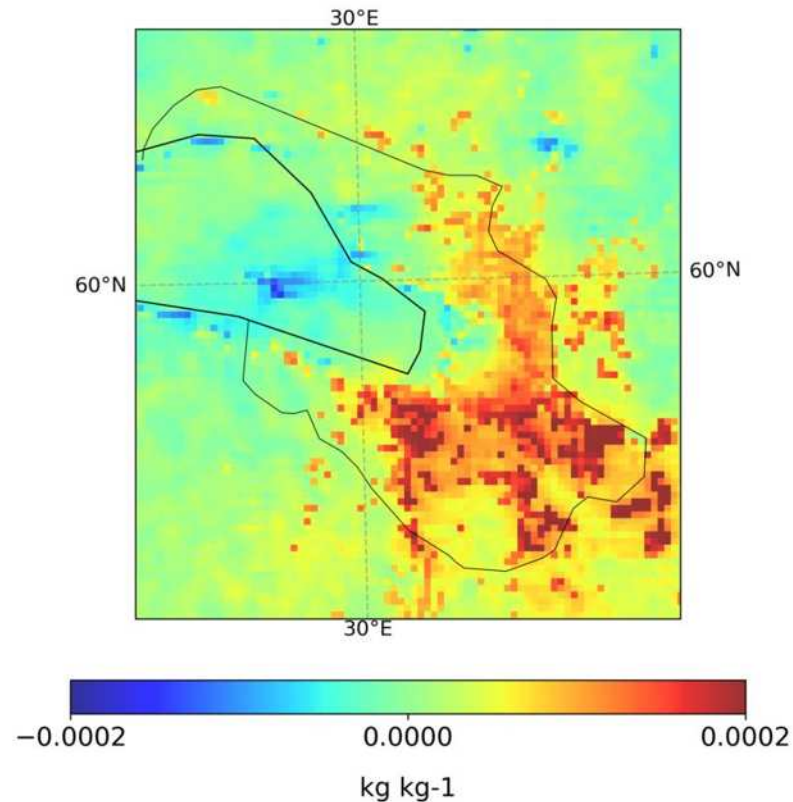
Опыт применения WRF-Chem на городском масштабе (1 км):

- Средние разности между экспериментами с учетом детализированной городской застройки (BEP, LCZs) и без за июль 2021 г
- Приземная температура воздуха с учетом BEP больше в центральной части города, но меньше в других областях
- Массовая доля водяного пара больше при учете BEP почти на всей территории города
- Скорость ветра с учетом BEP на территории города (особенно в условиях густой застройки) меньше на 0.5-1.5 м/с

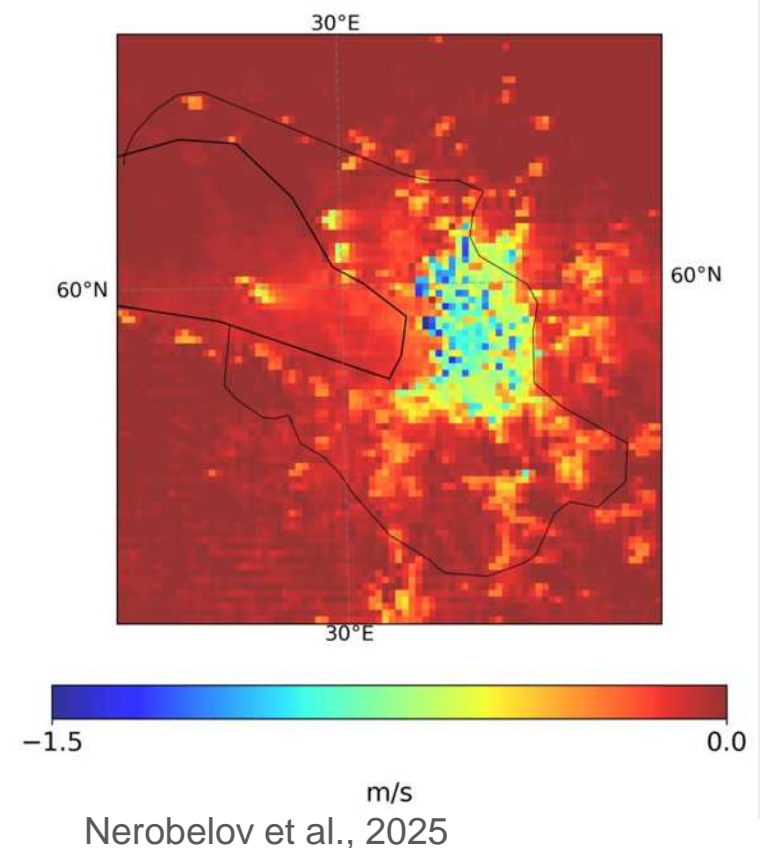
Mean difference in near-surface T (~30 m agl.) for 07-2021:
Exp BEP minus Exp no BEP



Mean difference in near-surface Q (~30 m agl.) for 07-2021:
Exp BEP minus Exp no BEP



Mean difference in near-surface WS (~30 m agl.) for 07-2021:
Exp BEP minus Exp no BEP

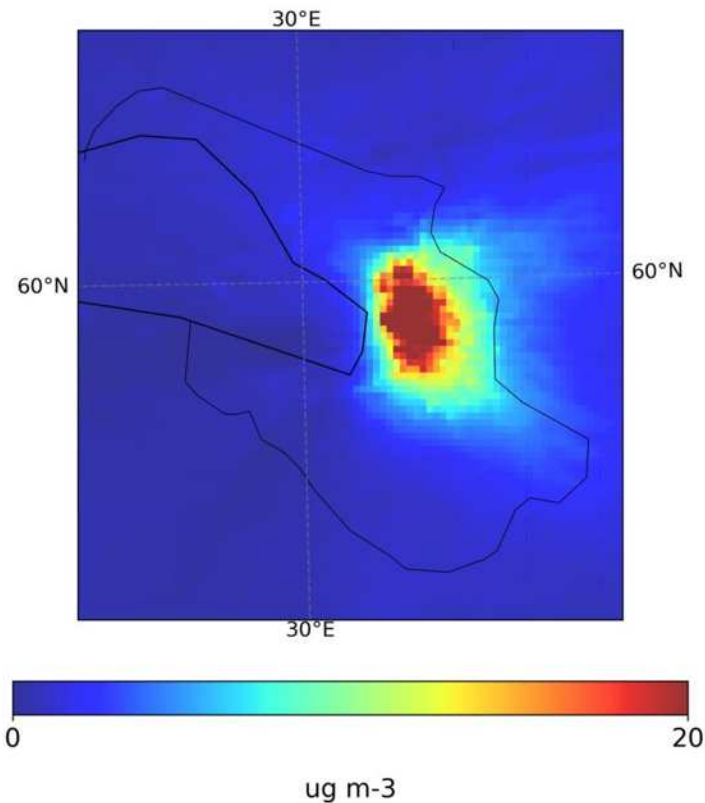


Моделирование содержания атмосферных загрязнителей на территории Санкт-Петербурга

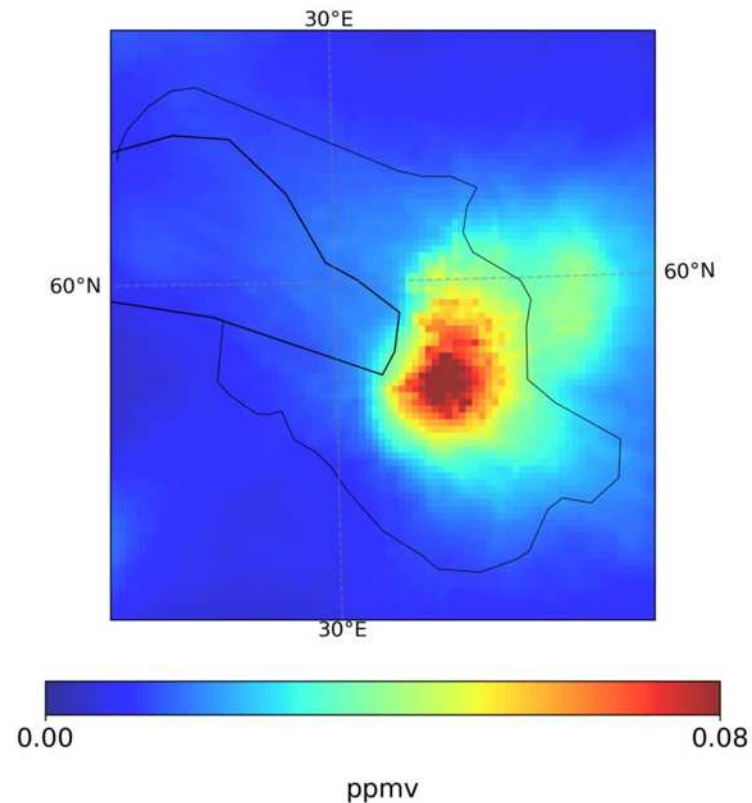
Опыт применения WRF-Chem на городском масштабе:

- Средние разности между экспериментами с **учетом** детализированной городской застройки (BEP, LCZs) и **без** за июль 2021 г
- Увеличение содержания основных загрязнителей (PM10, NO_x, CO, SO₂) у поверхности земли (в основном из-за более **низкой скорости ветра** в условиях городской застройки!)
- Содержание приземного озона с учетом городской застройки уменьшается на территории Санкт-Петербурга!

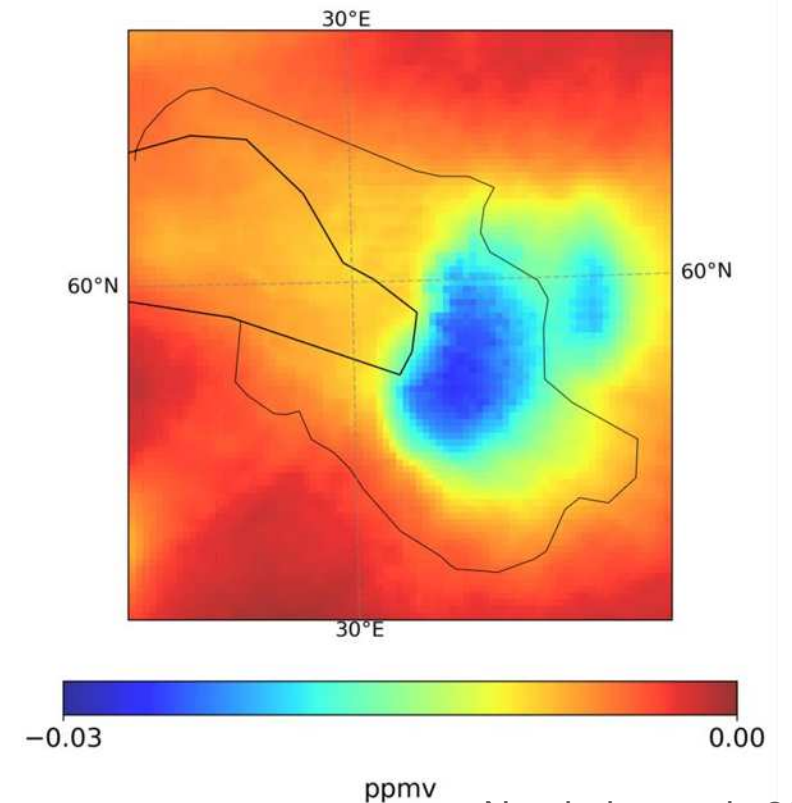
Mean difference in near-surface PM10 for 07-2021:
Exp BEP minus Exp no BEP



Mean difference in near-surface NO2 for 07-2021:
Exp BEP minus Exp no BEP



Mean difference in near-surface O3 for 07-2021:
Exp BEP minus Exp no BEP



IUS и модели для смягчения последствий ГОТ и адаптации

А. Физические изменения в городской среде

і) Материалы поверхности

- желаемой влажности, отражательной способности и теплоемкости
- модели для оценки влияния изменения материала на CL-T

(іі) Голубая и зеленая инфраструктура

- Ряд природных решений
- Тип и размещение инфраструктуры

(ііі) Застроенные и уличные формы

- геометрия обеспечивает тень, вентиляцию, охлаждение
- Переменные следует учитывать: ветер, влажность и радиация

В. Изменения в поведении городских жителей

Использование энергии

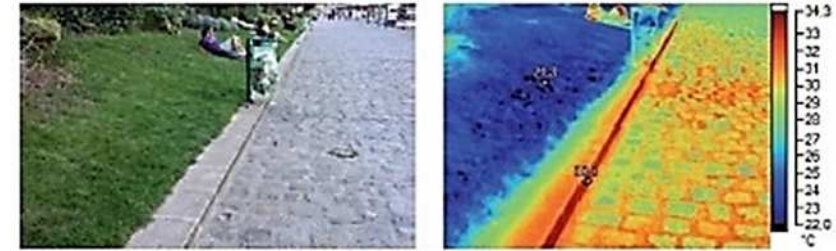
- Снижение энергопотребления в различных секторах
- Много положительных отзывов и сопутствующих преимуществ

С. Выбери «правильную» меру для смягчения ГОТ

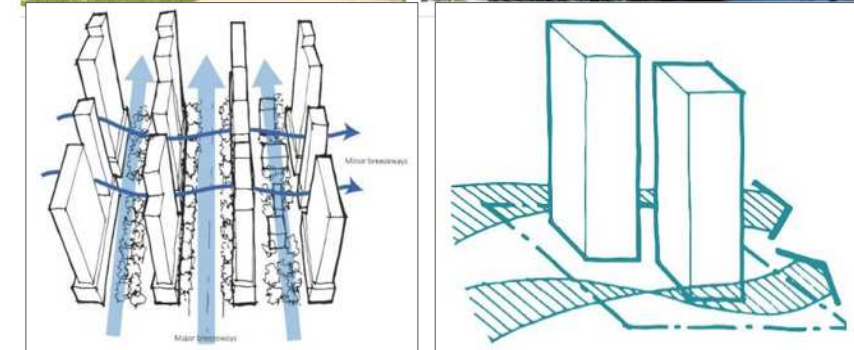
і) Соображения по проектированию и планированию

іі) Проблемы, связанные с компромиссами

- светоотражающее покрытие; Уличные деревья; Озера и пруды



APUR, 2012. *Ilots de chaleur urbaine a Paris*: www.apur.org



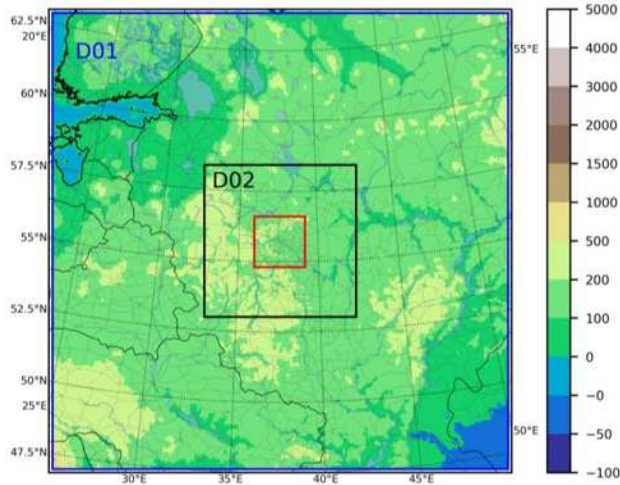
Hong Kong Guidebook on Microclimate & Urban Planning (2018)



WMO Guidance on CL-UHI, 2023

Адаптация городов к изменению климата:

Зеленые и белые крыши: что эффективнее справляется с жарой?



2 периода моделирования:

- 1) 10 июня 2021 – 20 июля 2021
- 2) 1 августа 2022 – 31 августа 2022

3 вложенные сетки:

Сетка 201*201, 52 вертикальных уровня
Горизонтальный шаг сетки: 9 км, 3 км, 1 км

4 варианта:

исходные LCZ, зеленые крыши
Белые крыши, белые крыши и стены

Стоимость
установки

Белые крыши

\$2.4 млрд - \$3 млрд

Белые крыши
+ стены

+ \$4.8 млрд – \$5.4 млрд

Зеленые крыши

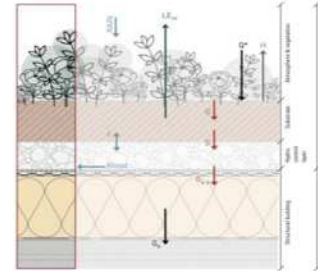
\$15 млрд - \$30 млрд

Стоимость
годового
обслуживания

\$0.4 млрд

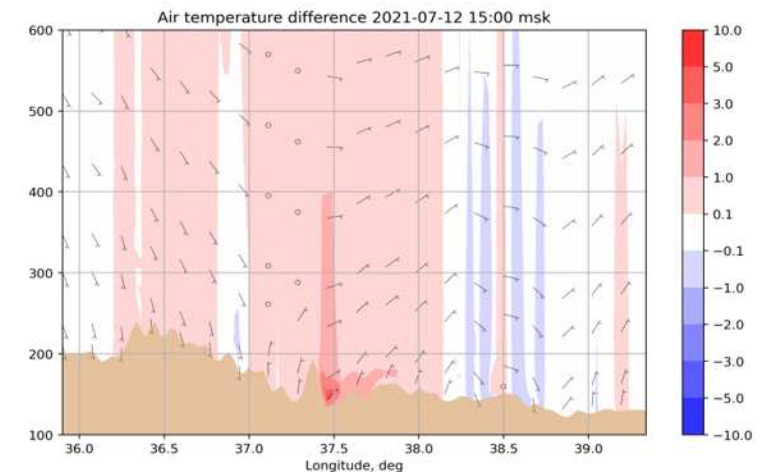
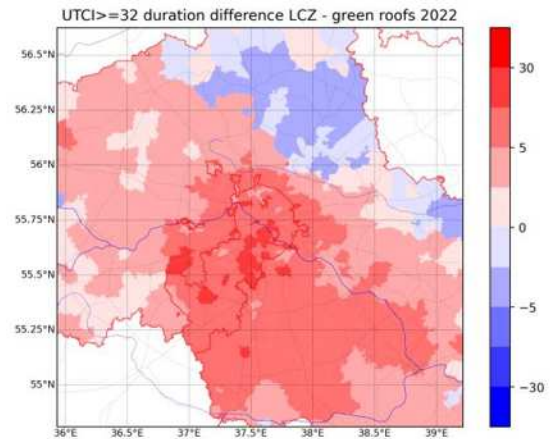
\$0.8 млрд

\$2 млрд - \$3 млрд



Результаты

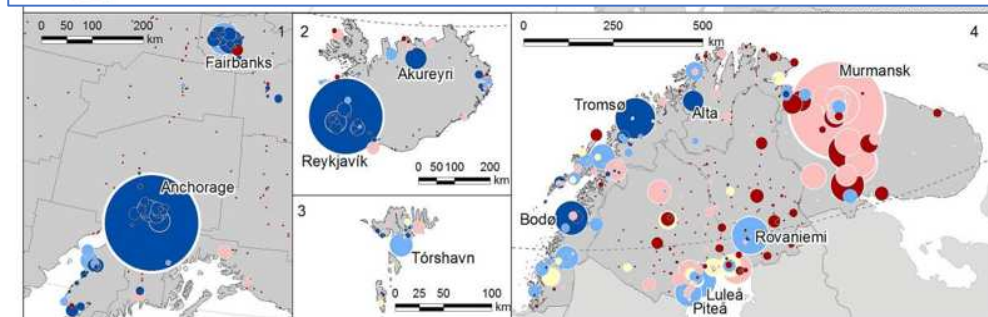
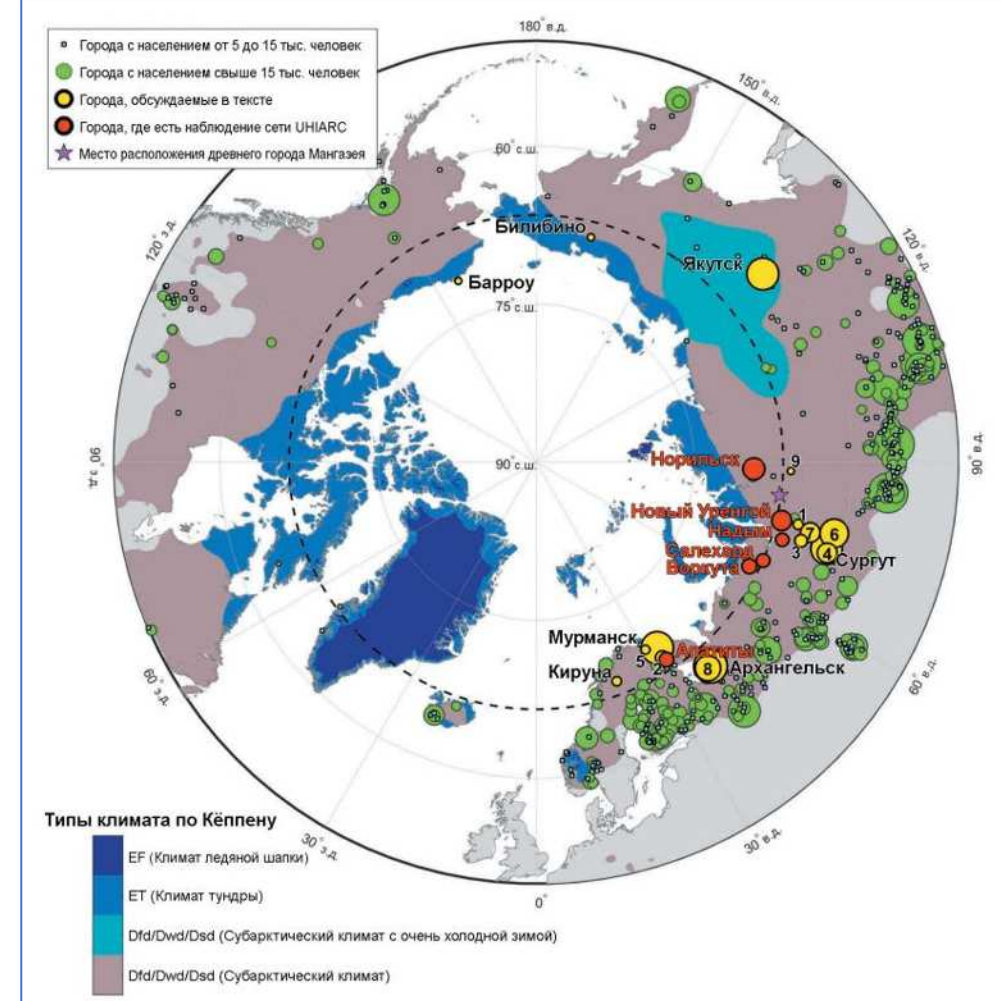
1. Обе стратегии адаптации показали снижение температуры воздуха в условиях волны жары
2. Максимальный эффект наблюдался на высоте 30-50 метров над поверхностью, что соответствует влиянию крыш
3. В условиях сухой и солнечной волны жары (август 2022) хорошо проявляется эффект от зеленых крыш за счет эвапотранспирации
4. В условиях более влажной волны жары (июнь-июль 2021) эффективнее работали белые крыши, однако общий эффект мозаичен из-за влияния кучевой облачности
5. Зеленые крыши создают запаздывание суточного хода температуры за счет повышения теплоемкости
6. При продолжительности волны жары порядка 10 суток только белые крыши достаточно дешевы для экономической эффективности



Северная урбанизация

Арктический и Северный регион характеризуется:

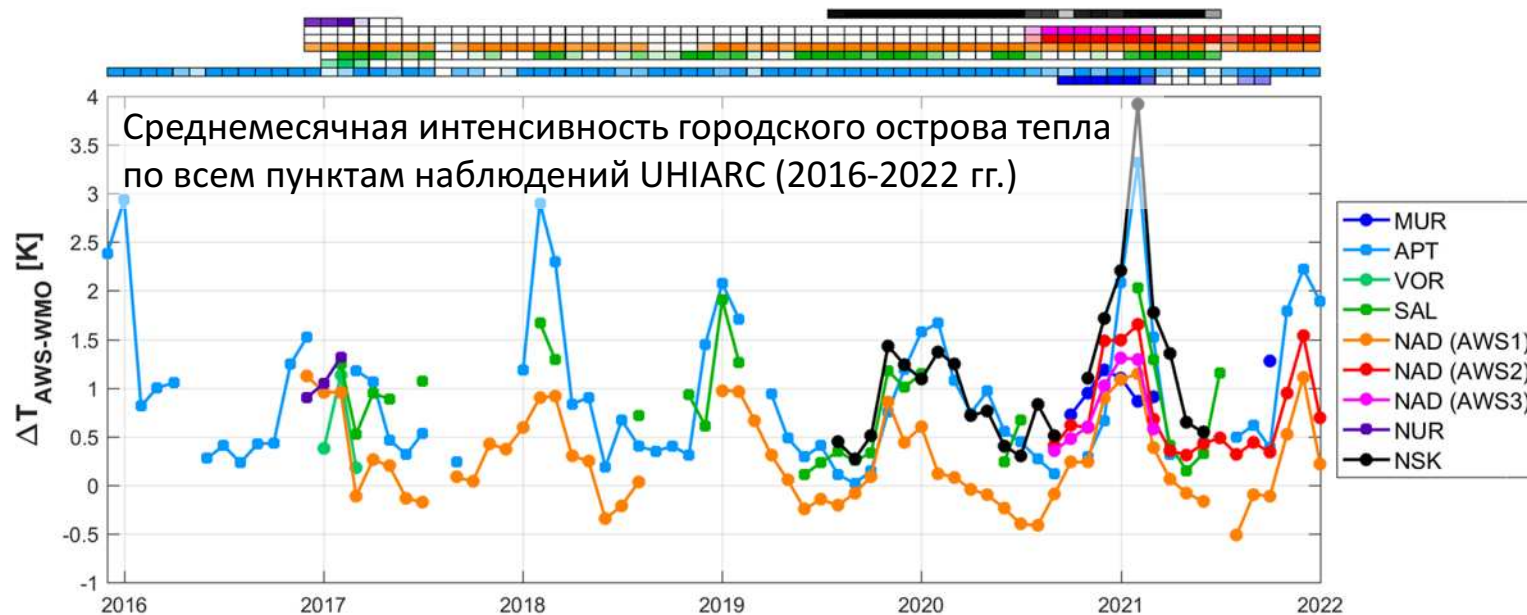
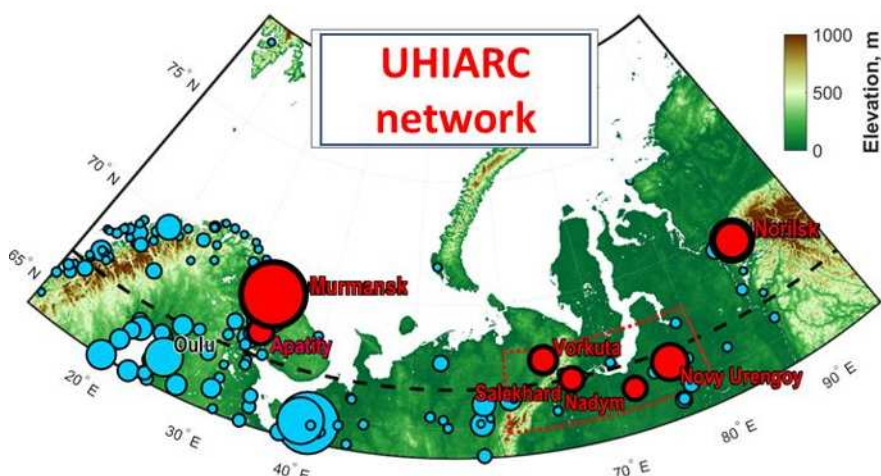
- Гораздо более **низкая плотность населения** и не быстрый рост, но **глобальное потепление может увеличить городское** развитие
- Высокоурбанизированный, **≈ 90%** населения проживает в городах
- **Небольшие города** доминируют, но проблем не меньше
- Около 100 поселков городского типа с населением > 5000 жителей
- **Гораздо более высокая уязвимость** и более низкая устойчивость
- **Холодный климат** является доминирующим фактором ОС
- Городской нексус включает в себя:
 - **Снег** – влияние на управление и планирование
 - Мерзлый грунт и **вечная мерзлота** – стабильность инфраструктуры
 - Замерзшие поверхностные воды – водоснабжение и канализация
 - Спящая растительность – сокращение экосистемных услуг
 - Застойная и **стабильно стратифицированная атмосфера** – загрязнение воздуха и городской остров тепла
 - Низкие температуры – проблемы со здоровьем и рабочий режим
 - **высокое энергопотребление**
- **Миграция является доминирующим социальным фактором** в регионе
 - Более 60% городского населения – мигранты в 1-м поколении
 - Высокая квалификация, но слабое чувство места
 - Внешняя, неустойчивая повестка дня в области развития



Arctic region defined as in Arctic Human Development Report
Population in settlements defined and calculated as:
- Nordic Countries: built-up areas after national statistical definitions
- Alaska: Cities and Census Designated Places
- Canada: cities and towns (in census subdivisions)
- Russia: Urban settlements and selos
Analysis and design: Johanna Roto 2014

Change rate in settlements with < 500 inhabitants and outside aggregated to the regional level (small dots). Not all small settlements included to map
Integrated data for Anchorage, Fairbanks, Murmansk and Reykjavik city regions in circumpolar map
Change data 2000-2010, CA 2001-2010 (Labrador 2001-2006) RU 2002-2010
Data source: National statistical institutes, register data for the Nordic Countries, Alaska, Canada and Russia - Census data

Обобщение экспериментальных микроклиматических наблюдений и моделирование в городах Российской Арктики



- Сеть UHIARC и первые результаты: [Konstantinov et al. \(2018\). A high density urban temperature network deployed in several cities of Eurasian Arctic. ERL.](#)
- Ведется подготовка статьи про открытую базу данных многолетних наблюдений.

Заключительные комментарии:

ВМО содействует созданию безопасных, здоровых и устойчивых городов путем развития специально адаптированных комплексных городских услуг в области погоды, климата и окружающей среды.

Цель состоит в том, чтобы создать городские службы, отвечающие особым потребностям городов и их растущего населения.

Эти услуги необходимы:

- Менеджеры по чрезвычайным ситуациям для составления карты рисков и раннего предупреждения.
- Транспортные департаменты для минимизации выбросов и сбоев из-за экстремальных погодных условий,
- Поставщики медицинских услуг должны подготовить планы действий по борьбе с жарой и реагированию на сильное загрязнение
- Энергоменеджеры для оптимизации производства.
- Водные департаменты для борьбы с последствиями наводнений и нехваткой воды
- Градостроители для снижения уязвимости зданий и инфраструктуры к повышению уровня моря и стихийным бедствиям

Российские города имеют сильную специфику (особенно северные регионы), ИГС и стратегия создания климатически-умных городов могут быть отличными

Создание национальной программы по интегрированным городским климатическим и экологическим сервисам необходимо

Участники и соавторы текущих исследований: Лаборатория Интегрированного Моделирования Атмосферы (ЛИМА) РГГМУ



РНФ проект на
2023-2026:
Проведение
исследований
научными
лабораториями
мирового
уровня

30 сотрудников
54% молодых

С.П. Смышляев [[РГГМУ](#)], М.И. Варенцов [[НИВЦ МГУ](#); [Гидрометцентр](#)], П.И. Константинов [[МГУ, геогр. ф.](#)], А.В. Пененко [[ИВМиМГ СО РАН](#)], Г.М. Неробелов [[СПб ФИЦ РАН](#)], М.С. Мостаманди [[РГГМУ](#)], А.А. Кирсанов [[ВСЕГЕИ](#)], Л.И. Коломеец [[СПбГУ](#)], М.А. Усачева [[СПбГУ](#)], А.А. Коспанов [[МГУ](#); [РГГМУ](#); [Гидрометцентр](#)], В.С. Маратканова, А.А. Шурыгина, Ю.И. Ярынич [[МГУ, геогр. ф.](#); [ИФА РАН](#)], П.Н. Антохин [[ИОА СО РАН](#); [ИГУ](#)], П.В. Амосов [[ИППЭС КНЦ РАН](#)], О.Г. Анискина, М.А. Моцаков, А.И.Н. Мханна, Н.А. Озерова, А.А. Окуличева, Д.В. Шилов, А.Р. Яковлев [[РГГМУ](#)], и др.

Публикации

- Тронин А. А., Киселёв А. В., Крицук С. Г. Многолетние тренды содержания диоксида азота в воздушном бассейне России по спутниковым данным // Современная проблема дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 259–265. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-259-265.
- Amarim, J.H., Asker, C., Belušić, D., Carvalho, A.C., et al., 2018. Integrated Urban Services for European cities: the Stockholm case. WMO Bulletin 67(2), 33–40. ISSN 0042-9767.
- Baklanov, A., B. Cárdenas, T.C. Lee, S. Leroyer, V. Masson, L.T. Molina, T. Müller, C. Ren, F.R. Vogel, J.A. Voogt, 2020: Integrated urban services: Experience from four cities on different continents, Urban Climate, 100610, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100610>
- Baklanov, A., 2006: Overview of the European project FUMAPEX. ACP, 6., doi.org/10.5194/acp-6-2005-2006 and FUMAPEX SI: https://www.atmos-chem-phys.net/special_issue24.html
- Baklanov, A., Hänninen, O., Slørdal, L. H., et al., 2007: Integrated systems for forecasting urban meteorology, air pollution and population exposure, ACP, 7, 855–874, <https://doi.org/10.5194/acp-7-855-2007>
- Baklanov A., S. Grimmond, A. Mahura, et al, 2009: Meteorological & Air Quality Models for Urban Areas. Springer, 183p.
- Baklanov, A., Lawrence, M., Pandis, S., et al., 2010: MEGAPOLI: concept of multi-scale modelling of megacity impact on air quality and climate, Adv. Sci. Res., 4, 115–120., <https://doi.org/10.5194/asr-4-115-2010>
- Baklanov, A., L.T. Molina, M. Gauss, 2016: Megacities, air quality and climate. Atmospheric Environment, 126: 235–249. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.11.059
- Baklanov A., Grimmond, C.S.B., Carlson, D., et al., 2018: From Urban Meteorology, Climate and Environment Research to Integrated City Services. Urban Climate, 23: 330–341, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.11.011>
- Grimmond, C.S.B., Tang, X., Baklanov, A., 2014. Towards integrated urban weather, environment and climate services. WMO Bull., 63(1): 10–14.
- Grimmond, C.S.B., Carmichael, G., Lean, H., et al., 2015: Urban-scale environmental prediction systems. Chapter 18 in the WWOCS Book: Seamless Prediction of the Earth System: from Minutes to Months, WMO-No. 1234, Geneva, 347–370.
- Grimmond, S., V. Bouchet, L.T. Molina, et al., 2020: Integrated urban hydrometeorological, climate & environmental services: Concept, methodology and key messages, Urban Climate, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100623>
- Esau I., Varentsov M., Laruelle M., Miles M.W., Konstantinov P., Soromotin A., Baklanov A.A. and Miles V.V., 2020: Warmer Climate of Arctic Cities, in the monography "The Arctic: Current Issues and Challenges", P. 100–110, Eds. (Eds), NOVA Publishers, ISBN: 978-1-53617-306-2
- Nerobelov, G.M., Timofeyev, Y.M., Poberovskii, A.V. et al. Ground-Based Spectroscopic Measurements of the Total Ammonia Content in the Vicinity of St. Petersburg. Izv. Atmos. Ocean. Phys. 58, 560–568 (2022). <https://doi.org/10.1134/S0001433822060123>
- Nerobelov, G.M., Timofeyev, Y.M. Estimates of CO2 Emissions and Uptake by the Water Surface near St. Petersburg Megalopolis. Atmos Ocean Opt 34, 422–427 (2021). <https://doi.org/10.1134/S1024856021050151>
- Virolainen, Y.A., Nerobelov, G.M. & Polyakov, A.V. Comparison of Satellite and Ground-Based Measurements of Tropospheric Ozone Columns in the Vicinity of St. Petersburg. Izv. Atmos. Ocean. Phys. 59, 411–420 (2023). <https://doi.org/10.1134/S000143382304014X>
- Nikitenko A. A., Timofeev Yu. M., Virolainen Ya. A., Nerobelov G. M., Poberovsky A. V. Comparison of Stratospheric CO2 Measurements by Ground- and Satellite-Based Methods. // Atmos Ocean Opt 35, 341–344 (2023). <https://doi.org/10.1134/S1024856022040145>.
- Timofeyev, Y.M., Nerobelov, G.M., Poberovskii, A.V. et al. Determining Both Tropospheric and Stratospheric CO2 Contents Using a Ground-Based IR Spectroscopic Method. Izv. Atmos. Ocean. Phys. 57, 286–296 (2021). <https://doi.org/10.1134/S0001433821020110>
- Nerobelov, G., Virolainen, Y., Ionov, D.; Polyakov, A.; Rozanov, E. WRF-Chem Modeling of Tropospheric Ozone in the Coastal Cities of the Gulf of Finland. Atmosphere 2024, 15, 775. <https://doi.org/10.3390/atmos15070775>
- Nerobelov, G.; Timofeyev, Y.; Foka, S.; Smyshlyaev, S.; Poberovskiy, A.; Sedeeva, M. Complex Validation of Weather Research and Forecasting—Chemistry Modelling of Atmospheric CO2 in the Coastal Cities of the Gulf of Finland. Remote Sens. 2023, 15, 5757. <https://doi.org/10.3390/rs15245757>
- Varentsov, M., Konstantinov, P., Baklanov, A., Esau, I., Miles, V., and Davy, R., 2018: Anthropogenic and natural drivers of a strong winter urban heat island in a typical Arctic city, Atmos. Chem. Phys., 18, 17573–17587, <https://doi.org/10.5194/acp-18-17573-2018>
- Varentsov, M, P Konstantinov, I Repina, A Artamonov, A Pechkin, A. Soromotin, I. Esau, A. Baklanov, 2023: Observations of the urban boundary layer in a cold climate city. Urban Climate, 47, 101351, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101351>
- Tan, J., Yang, L., Grimmond, C.S.B., et al., 2015. Urban integrated meteorological observations: practice and experience in Shanghai, China. Bull. Am. Meteorol. Soc. 96, 85–102
- von Glasow, R., T.D. Jickells, A. Baklanov, et al., 2013: Megacities and Large Urban Agglomerations in the Coastal Zone: Interactions Between Atmosphere, Land, and Marine Ecosystems. AMBIO, 42 (1), 13–28.
- WMO, 2019 & 2021: Guidance on Integrated Urban Hydrometeorological, Climate and Environmental Services. Volume 1: Concept and Methodology, 2019, Volume 2: Demonstration Cities, 2021, (WMO-No. 1234), https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9903
- WMO, 2023: Guidance on Measuring, Modelling and Monitoring the Canopy Layer Urban Heat Island (CL-UHI), World Meteorological Organization, WMO-No. 1292, <https://library.wmo.int/idurl/4/58410>
- WMO, 2024: Good Practices in High-resolution Modelling for Integrated Urban Services, World Meteorological Organization, WMO-No. 1313, <https://library.wmo.int/idurl/4/68746>

