

CityAir

платформа для
мониторинга, прогноза и
исследования качества
воздуха в городах

Содержание

- 1) Зачем измерять качество воздуха?
- 2) Насколько плотной должна быть измерительная сеть?
- 3) Микростанции мониторинга качества воздуха CityAir
- 4) Система обработки данных
- 5) Система прогноза полей концентрации атмосферных примесей
- 6) Данные дистанционного зондирования
- 7) Перспективы и открытые вопросы

1. Зачем измерять качество воздуха?

Зачем измерять качество воздуха?

- Лондонский смог (декабрь 1952)
- Запрет чёрного дыма (Clean Air Act, июль 1956)
- Значительное снижение смертности в декабре

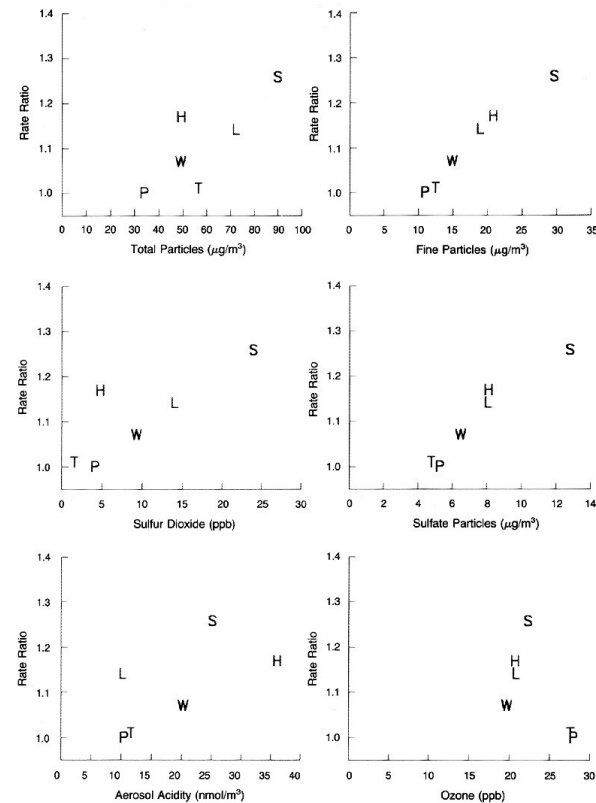


Источник: *The Guardian*, 05.12.2017, Alamy, Mirrорpix

NB. Смог и чёрный дым видны невооруженным взглядом

Зачем измерять качество воздуха?

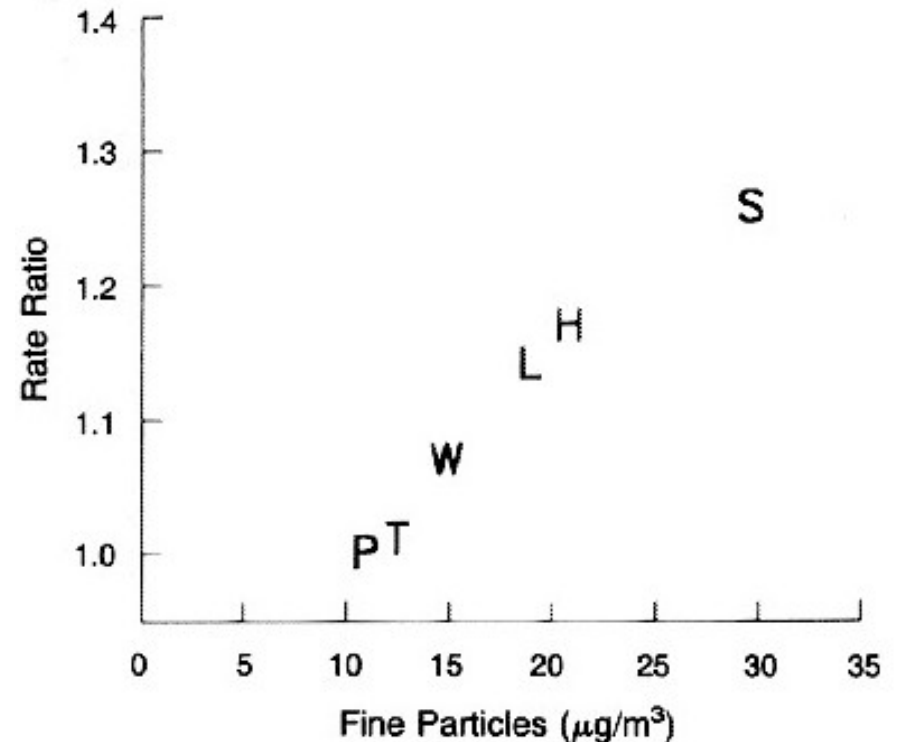
- Исследование Dockery et al., 1993
- Уровень смертности, скорректированный на демографические факторы, зависит от содержания *лёгких частиц*



Источник: Dockery et al., NEJM 1993

Зачем измерять качество воздуха?

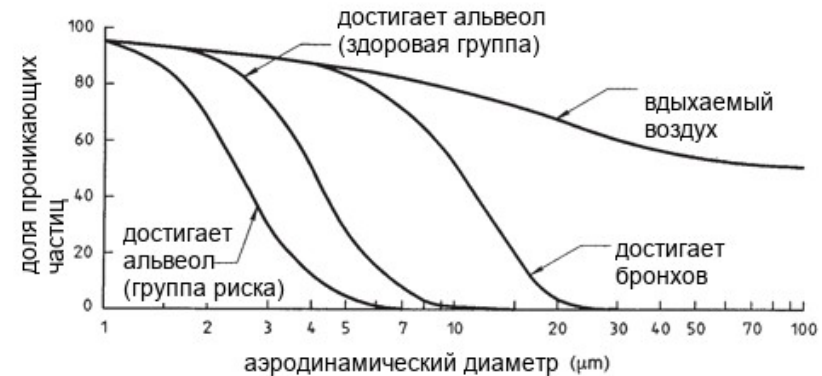
- Исследование Dockery et al.
- Уровень смертности, скорректированный на демографические факторы, зависит от содержания *лёгких частиц*
- Стьюбенвилл/Портейдж
= 1.26 ± 0.2



Источник: Dockery et al., NEJM 1993

Что такое «лёгкие частицы»?

- PM10 – частицы, основная масса которых попадает в бронхиальное дерево
- PM2,5 – частицы, основная масса которых достигает лёгочных альвеол
- Измеряются с помощью импакторов, позволяющих фильтровать частицы, в соответствии с их аэродинамическим диаметром.



Источник: ISO 7708:1996

В отличие от смога, лёгкие частицы опасны в концентрациях, когда видимость сохраняется

Что ещё влияет на качество воздуха?

- Примесные газы:
 CO , NO , NO_2 , O_3 , SO_2
 - Летучие органические соединения
- Источники:
- Антропогенные,
 - Биогенные,
 - Пыль, морская соль,
 - Лесные пожары

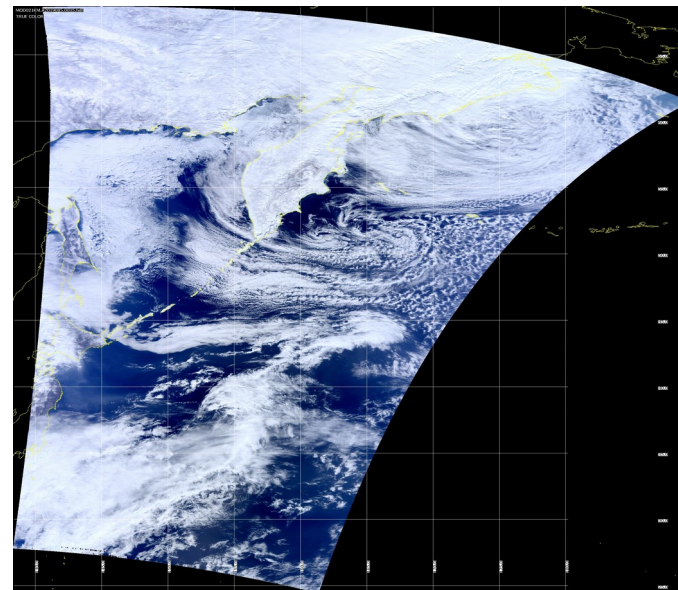
2. Насколько плотной
должна быть
измерительная сеть?

Что влияет на уровень загрязнения воздуха?

Состояние атмосферы

- Профили температуры и скорости ветра
- Высота приповерхностного пограничного слоя

Значительно меняется в течение суток



Что влияет на уровень загрязнения воздуха?

Источники эмиссии

- Интенсивность источника
- Высота источника над поверхностью
- Температура



Насколько плотной должна быть сеть?

- Высота приземного пограничного слоя ($R_i \leq 0.5$) – от 40 м (зимняя атмосфера) до 2 км (тропики)
- При устойчивой атмосфере любое понижение рельефа – потенциальная ловушка для загрязняющих веществ
- Необходима ли станция в каждой низменности?
В каждом уличном каньоне?

Пример: город Красноярск

В.В. Заворужев, О.Э. Якубайлик, личное сообщение

Город, расположенный на террасах древнего русла Енисея в предгорьях Восточного Саяна.

В целом, качество воздуха низкое, но на некоторых участках уровень загрязнения значительно превышает средний по городу, в отсутствие близко расположенных источников загрязнений

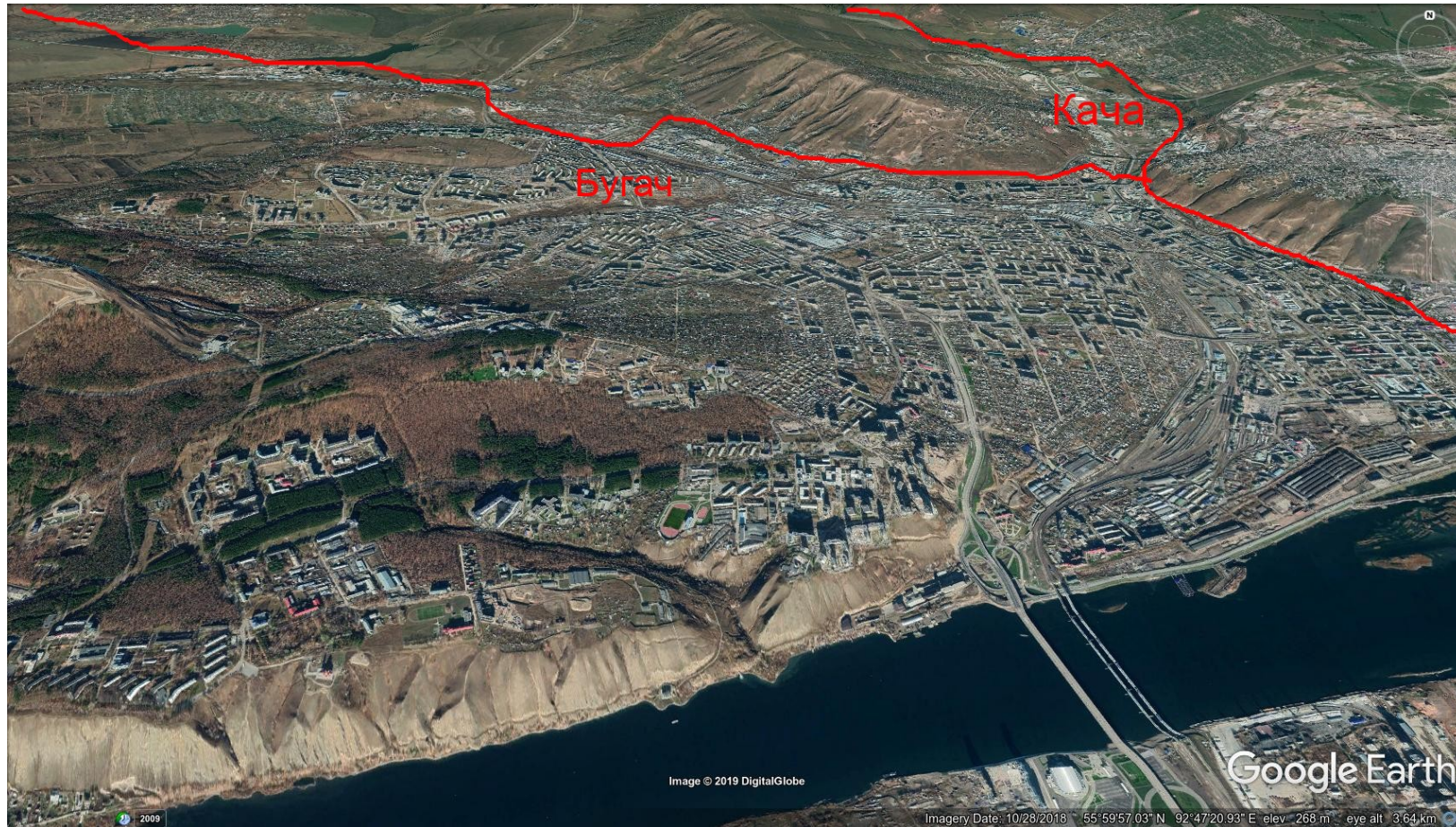


Image © 2019 DigitalGlobe

Google Earth

2009

Imagery Date: 10/28/2018 55°59'57.03" N 92°47'20.93" E elev. 268 m eye alt. 3.64 km



Пример:
город Красноярск

С помощью микростанций мониторинга воздуха удалось подтвердить измерениями повышенный уровень загрязнения в долинах речек Бугач и Кача.

Установить, что источником загрязнения являются поселки с печным отоплением, расположенные выше по течению

3. Микростанция мониторинга качества воздуха CityAir

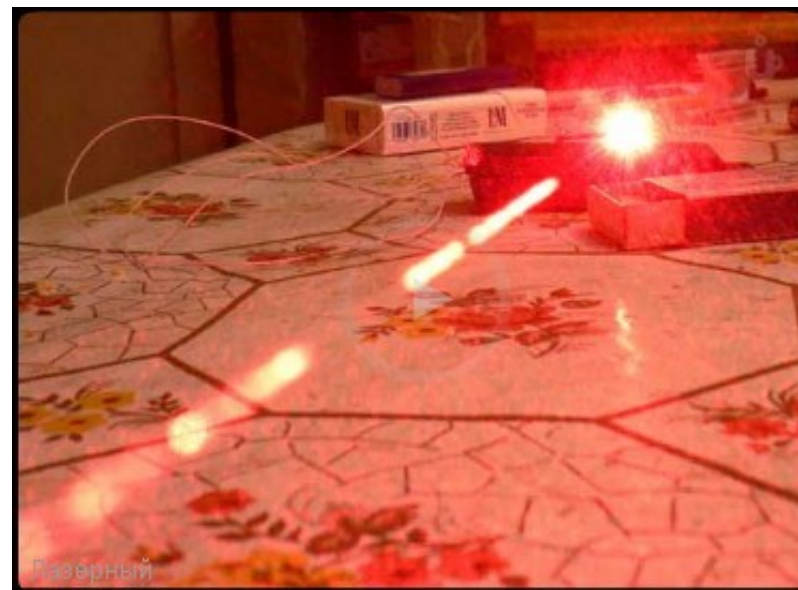
Микростанции CityAir

- GSM/Wi-Fi/Ethernet
- Оптический аэрозольный датчик
- Модули расширения:
электрохимические датчики газов
- Рабочий диапазон температур
-40 – +50 °С
- Полностью автоматическая



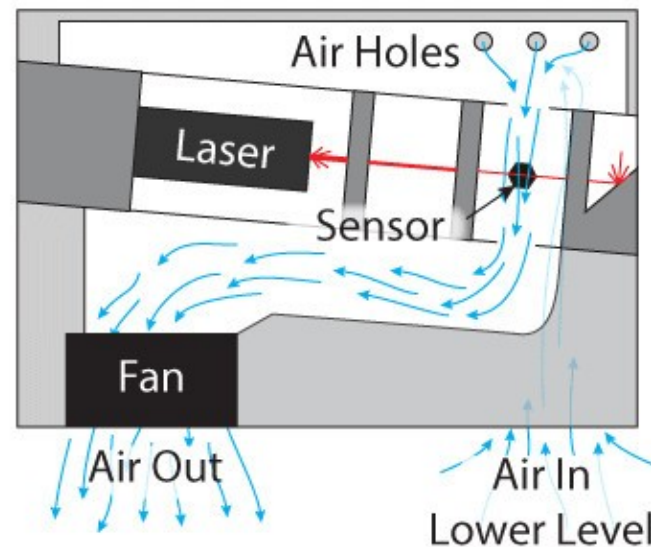
Оптический аэрозольный датчик

- Регистрация рассеянного на частицах излучения Q_s
- Определение диаметров частиц по интенсивности излучения на основе теории Ми
- Ограничения модели: сферические частицы, логнормальное распределение по диаметрам, плотность частиц и коэффициент дифракции задаются как параметры



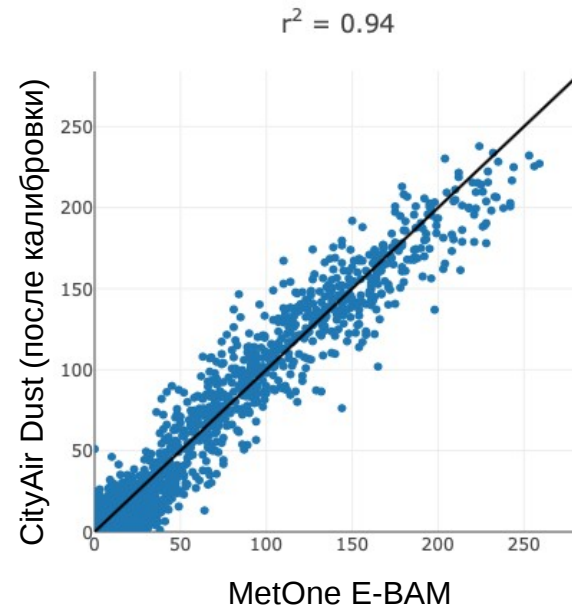
Оптический аэрозольный датчик

- Приемник регистрирует интенсивность излучения, рассеянного под углом 90°
- Лазер длиной волны 680нм
- Поток ~ 0.1 л/мин
- Время отклика ~ 10 с
- Требуется калибровка



Оптический аэрозольный датчик

- Сопоставление с оборудованием, близким к эталонному: MetOne E-BAM
- Красноярск, Ноябрь 2018 – Февраль 2019
- Широкий диапазон значений – до 250 мкг/м³

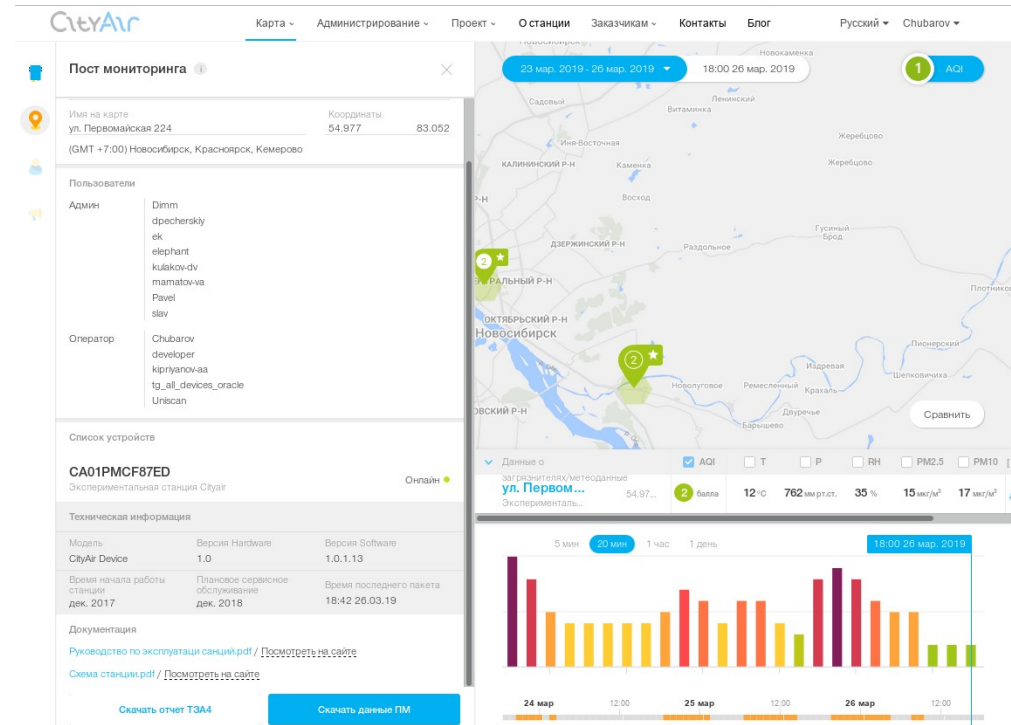


Данные MetOne E-BAM предоставлены ФИЦ КНЦ СО РАН

4. Система обработки данных

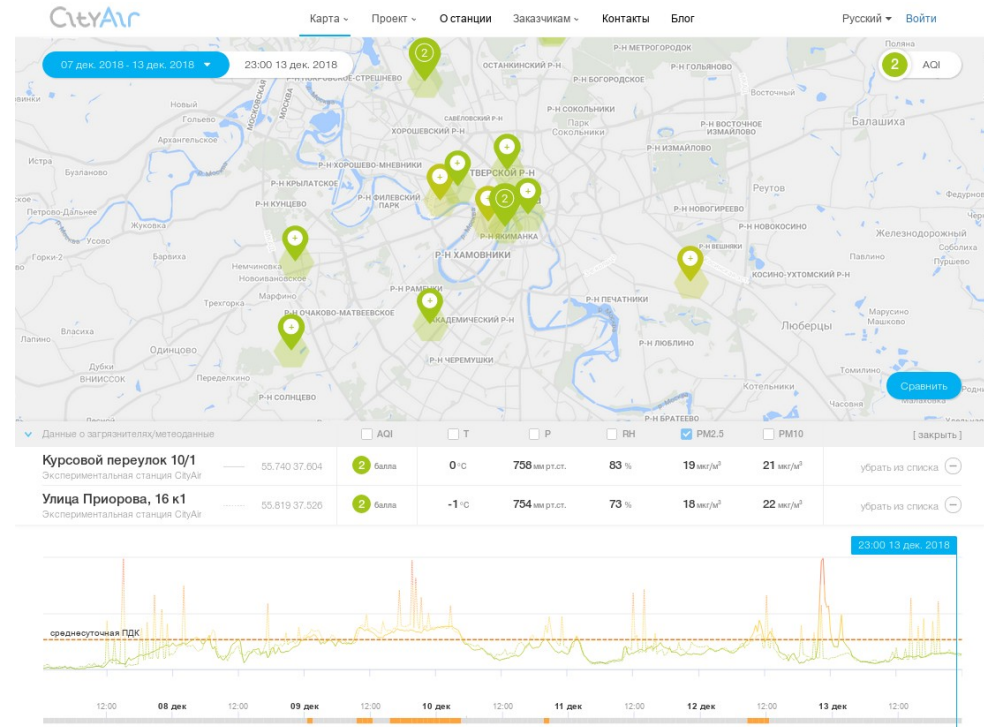
Обработка и хранение данных

- Сбор данных со станций CityAir и сторонних источников
- Программный доступ ко всей истории измерений по веб-протоколам
 - REST API,
 - Python API
- Отслеживание состояния оборудования



Визуализация данных

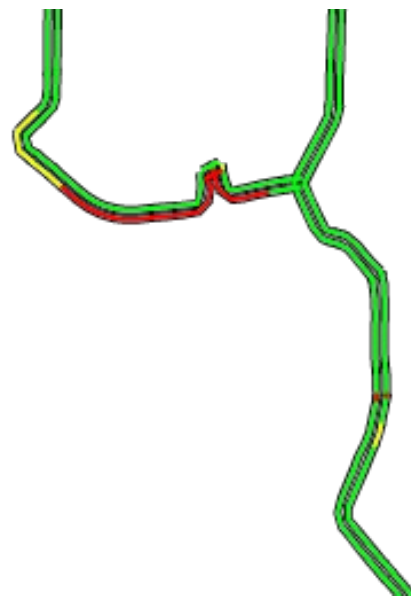
- Веб-приложение
- Сравнение измерений нескольких станций
- Сопоставление динамики различных показателей



5. Система прогноза полей концентрации атмосферных примесей

Характерные масштабы

- Отдельные источники эмиссий
- Понижения рельефа
- Мезомасштабные атмосферные структуры



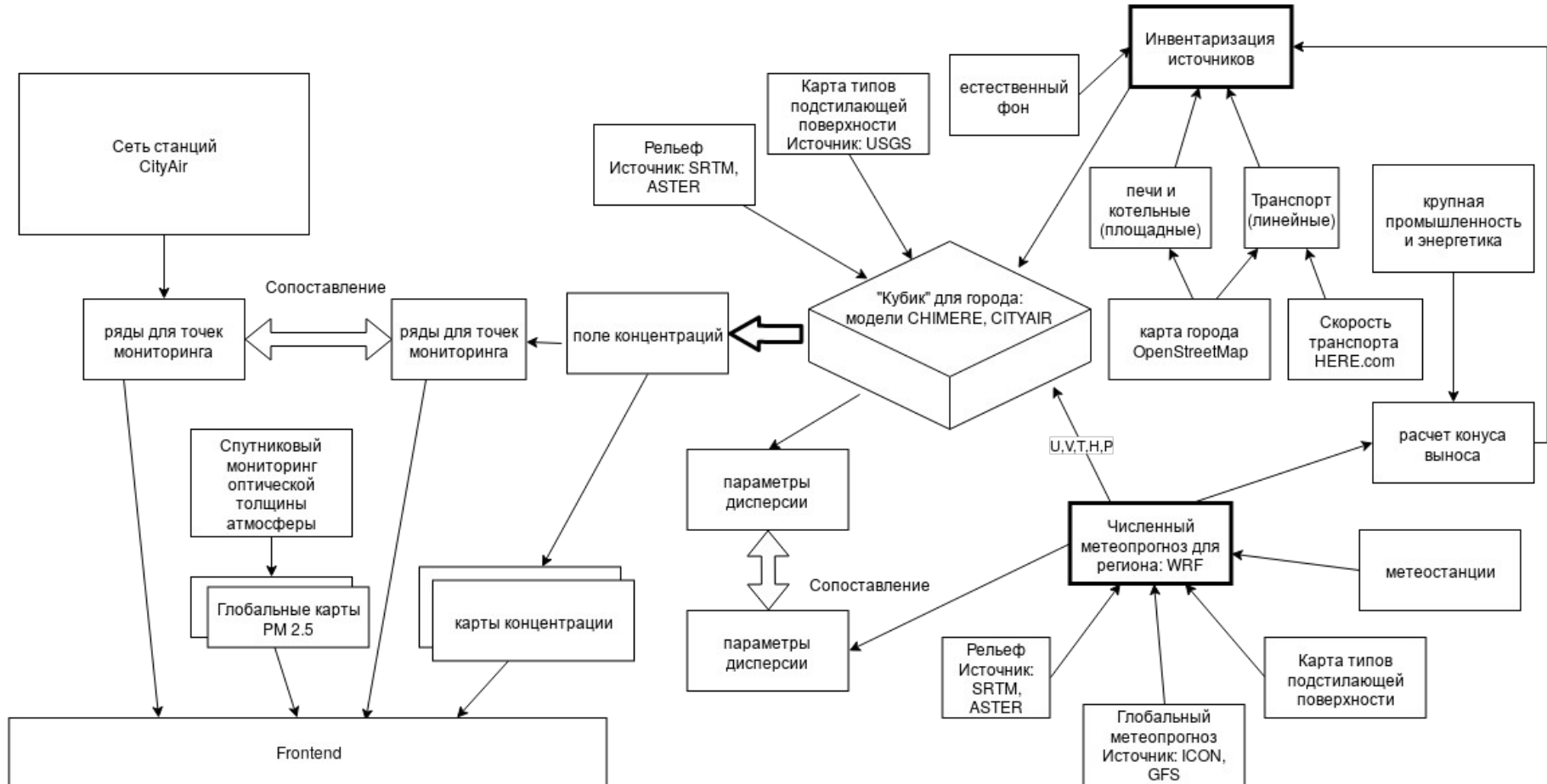
Данные о транспортных ЭМИССИЯХ

Динамика загрязнения воздуха в городе

- Масштаб разрешаемых особенностей: 5-10 км
- Заблаговременность: несколько суток
- Временное разрешение: 1 час

Численные модели CityAir

План



Программные инструменты

WRF 4.0

Мезомасштабная
модель динамики
атмосферы

CHIMERE 2017r4

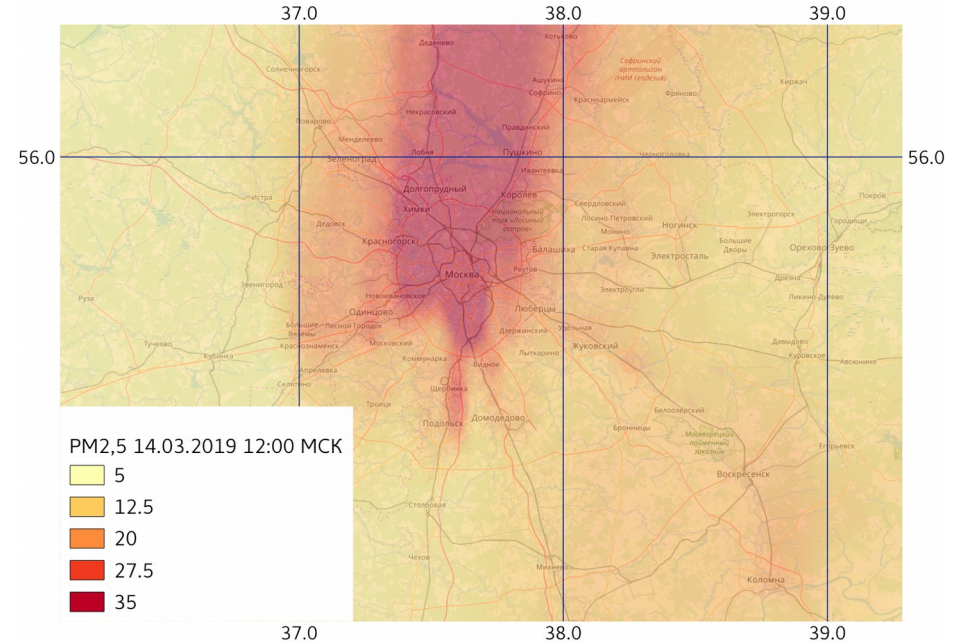
Модель переноса
вещества с учетом
химических реакций в
эйлеровых координатах

Инвентаризация эмиссий

- ЕМЕР 2015 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$
- 11 классов источников
- Для каждого вещества в каждой ячейке заданы среднегодовые значения
- Для использования инвентаризации в расчетах используется метод прокси-функций – эмпирических функций, определяющих
 - суточную,
 - недельную
 - и годовую изменчивость эмиссий,
 - вертикальное распределение

Пример: город Москва

- Разрешение
5км×5км
- Рассчитывается ~ 130 индикаторов состояния воздуха
- Сетки (long×lat×vert):
 - Метеопараметры: 48×52×33
 - Перенос вещества: 48×52×8
- Расчет метеопараметров на вложенных сетках
- Начальные и граничные условия: GFS 0.5°

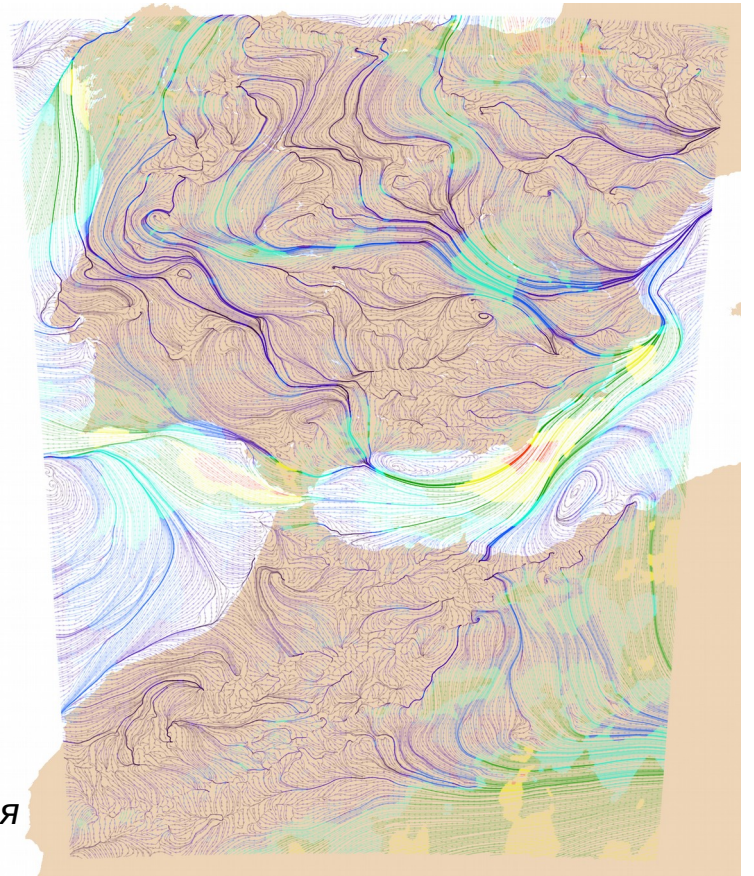


Применения высокого пространственного разрешения

Приложения для спортсменов и энтузиастов:

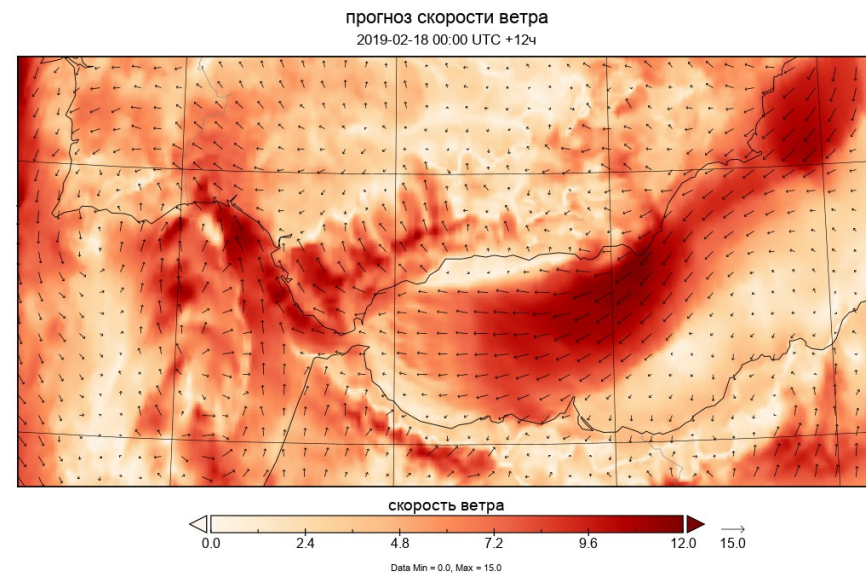
- Пространственное разрешение до 1 км
- Прогноз скорости приземного ветра (10 м)
- Визуализация

Прогноз поля ветра для побережья Испании и Португалии



Результаты

- WRF 4.0
- Пространственное разрешение 4 км
- Область расчета:
223 × 361 × 33
- 20 vCPU
- Начальные и граничные условия:
глобальный прогноз GFS 0.5°
-



*Прогноз поля ветра для
побережья Испании и
Португалии*

6. Данные дистанционного зондирования

Аэрозольная оптическая толщина

Аэрозольная оптическая толщина τ – коэффициент ослабления интенсивности солнечного излучения при прохождении в атмосфере

$$I = I_0 e^{-\tau}$$

Предполагается линейная зависимость τ от концентрации аэрозольных частиц. Рассматривается типовой состав атмосферы, в которой представлено несколько классов частиц.

Для каждого класса частиц – свой коэффициент пропорциональности.

Для увеличения числа уравнений используется несколько спектральных каналов.

Аэрозольная оптическая толщина

Сложности:

- Облачность
- Переменная яркость подстилающей поверхности
- Недостаточно высокая периодичность съемки

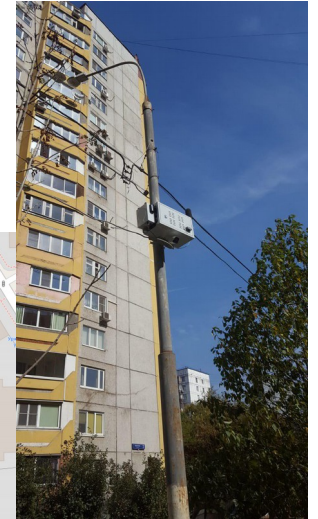
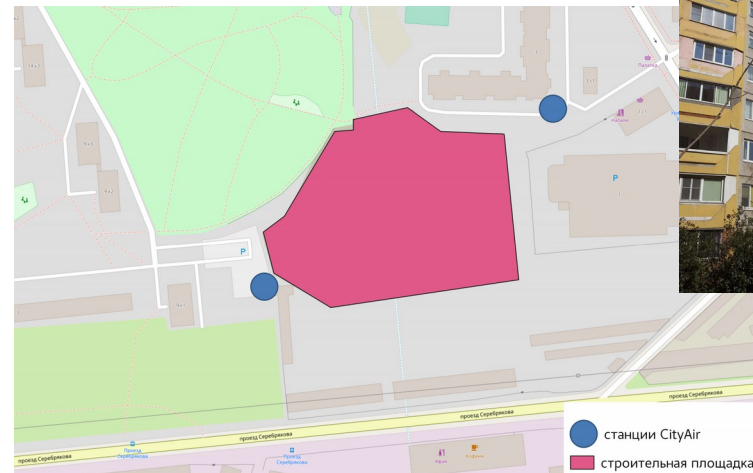
7. Города как исследовательские полигоны

Исследовательские ПОЛИГОНЫ

- Каждый город, где развернута сеть микростанций CityAir
- Города, где ведутся регулярные измерения и данные публикуются онлайн (OpenAQ)
- Новосибирск; Москва; Красноярск
- В ближайших планах: Сколково; Cambridge, MA
- Сеть исследовательских организаций:
 - Красноярский научный центр,
 - Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева,
 - Южно-Уральский государственный университет,
 - Сколтех

Мониторинг строительных площадок

- 3 строительных площадки в разных адм. округах
- Установка одной или двух микростанций на высоте 3 – 5 м

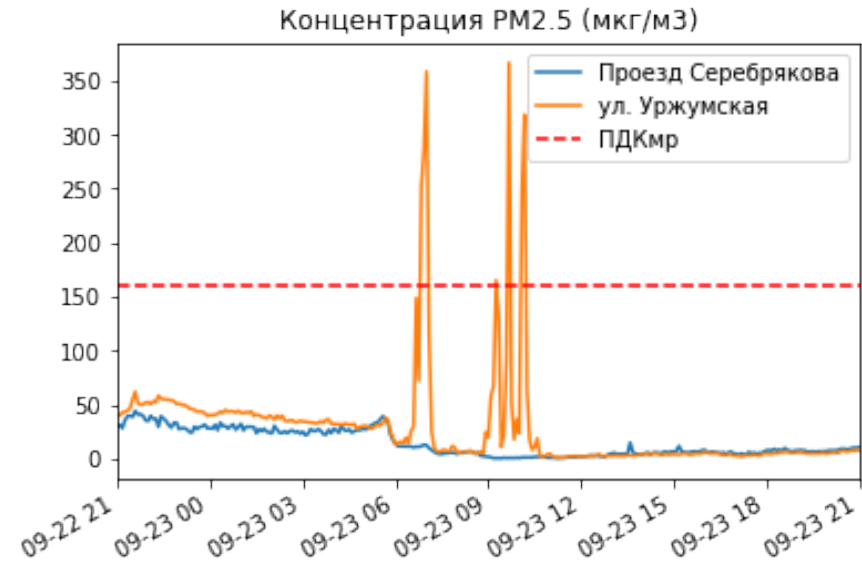


Мониторинг строительных площадок

Метеорологические условия:

- легкий западный ветер,
- Кратковременные осадки, способствовали рассеянию примесей

Низкие значения по параметру PM2.5 на станции «проезд Серебрякова» подтверждают вывод о наличии источника загрязнения в непосредственной близости от микростанции.



Вопросы и задачи

- Как оптимально разместить ограниченное число станций?
- Калибровка и сопоставление с эталонным оборудованием в различных условиях
- Оценка точности прогноза
- Уточнение информации об источниках эмиссии
- Влияние загрязнения воздуха на здоровье людей