

Турбулентность, динамика атмосферы и климата 2024

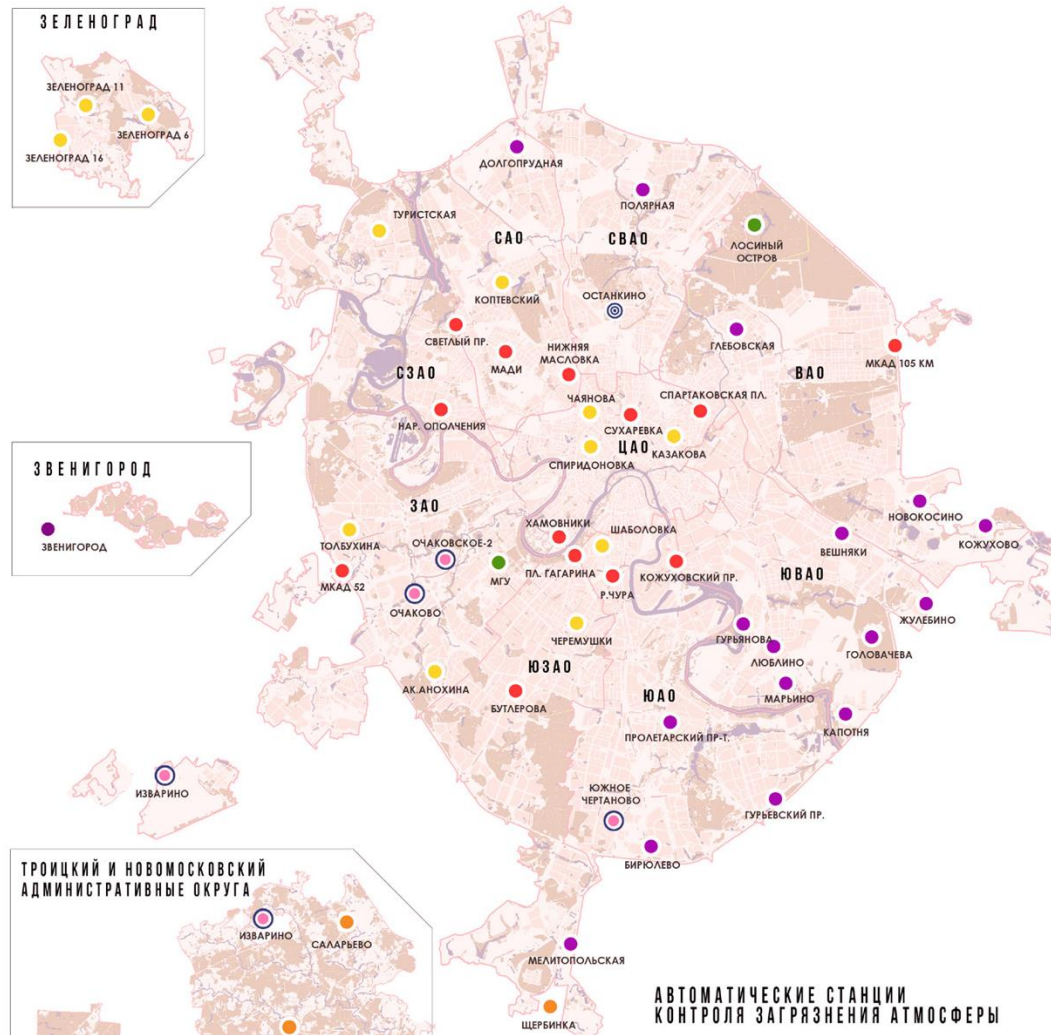
Моделирование переноса аэрозолей в пограничном слое при типичных конфигурациях городской застройки

Варенцов А.И., Мортиков Е.В., Степаненко В.М., Глазунов А.В.

|
aivarentsov98@gmail.com

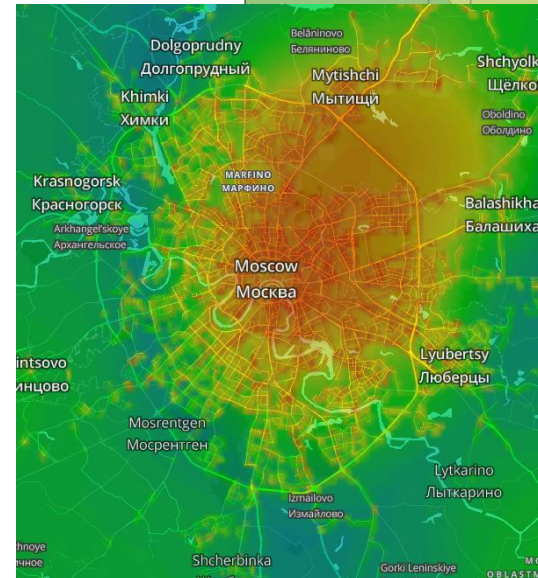
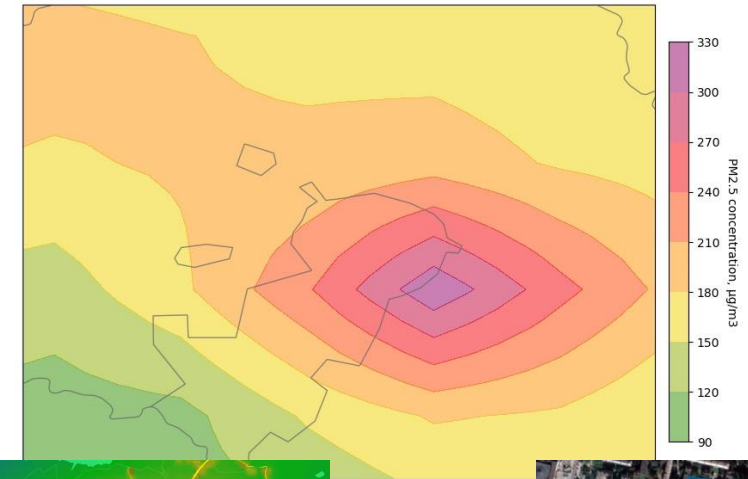
Мотивация: городское аэрозольное загрязнение

Сеть измерений



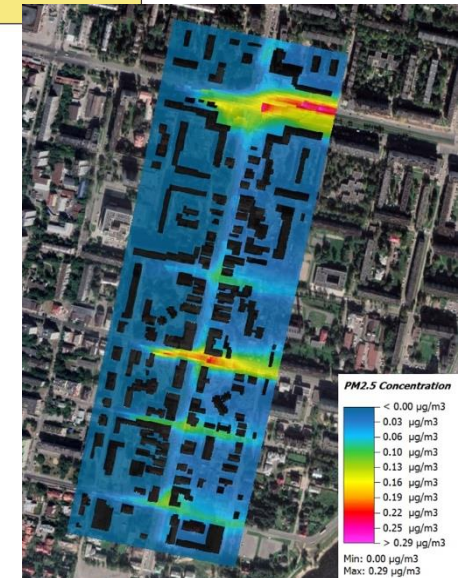
[Мосэкомониторинг, 2021]

Поле концентраций



[Breezometer.com]

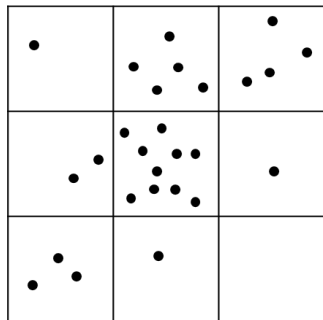
[CAMS]



[ENVI-met]

Разработанная модель переноса частиц

Лагранжев подход



Рассчитываются **скорость** и **позиция** каждой частицы

+

явный учёт действующих на частицы сил

Второй закон Ньютона

Сила сопротивления среды

Сила плавучести

Лагранжевы уравнения движения

$$\frac{d\mathbf{u}_p}{dt} = \frac{\mathbf{g}(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_D(\mathbf{u} - \mathbf{u}_p)$$
$$\frac{d\mathbf{x}_p}{dt} = \mathbf{u}_p$$

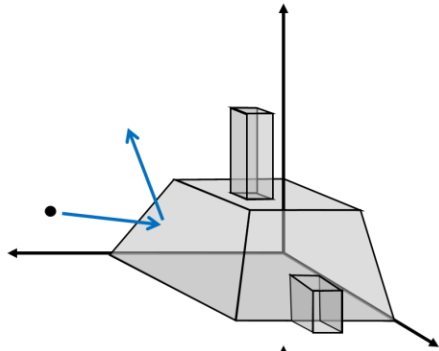
μ – динамическая вязкость воздуха
 C_D – коэффициент сопротивления среды
 Re – число Рейнольдса для частицы

ρ_p – плотность частицы
 d_p – диаметр частицы
 $\mathbf{u}_p$ – скорость частицы

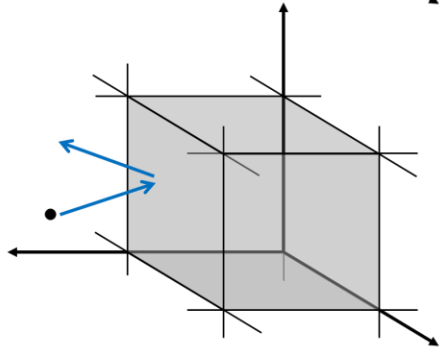
ρ – плотность воздуха
 $\mathbf{u}$ – скорость потока
 $\mathbf{g}$ – ускорение силы тяжести

Параметризации в модели

Взаимодействие с поверхностями



Полигональная
геометрия



Прямоугольная
геометрия

Распад частиц

Осаждение частиц на **листве**

Влияние турбулентности

Скорость потока:

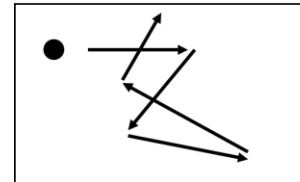
$$\mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}'$$

$\bar{\mathbf{u}}$ – осреднённая скорость, $\mathbf{u}'$ – пульсация

Стохастические
модели 0-го порядка

Модель случайных
смещений

$$\mathbf{u}' = \frac{\partial K_s}{\partial x_i} + \frac{\xi \sqrt{2K_s}}{\Delta t}$$

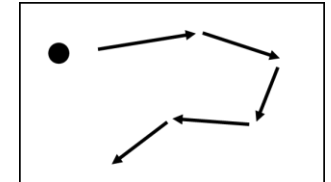


ξ – нормально распределённая случайная
величина, математическое ожидание $M_\xi = 0$

Стохастические
модели 1-го порядка

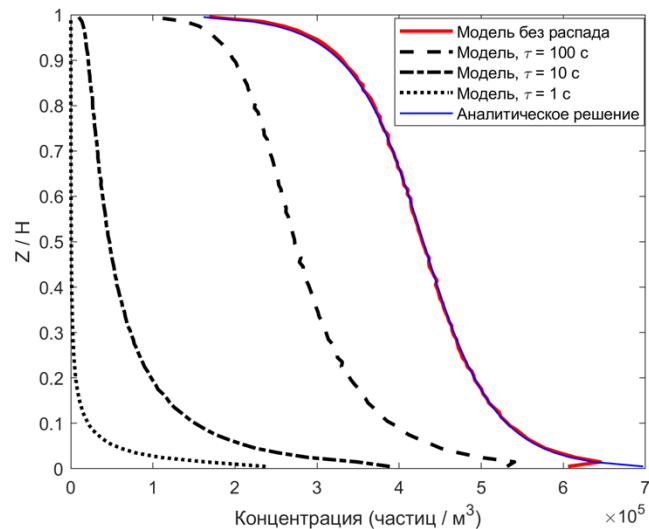
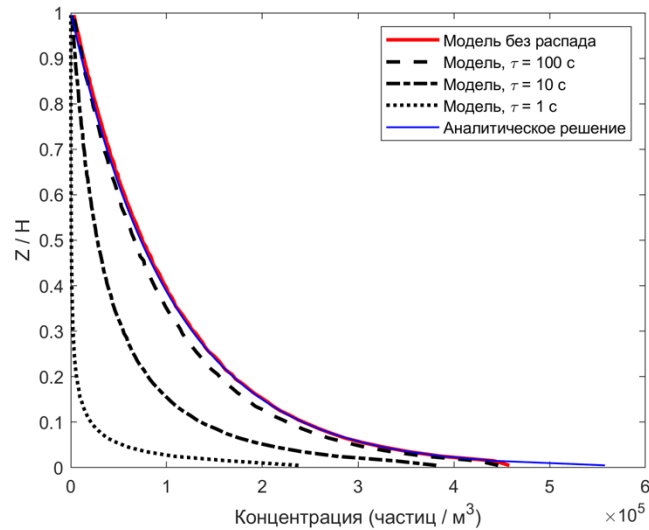
Модель Ланжевена

$$d\mathbf{u}' = a(x_p, \mathbf{u}', t)dt + b\xi$$

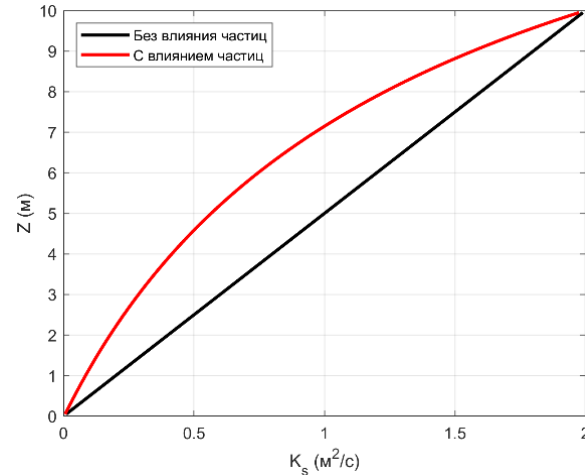
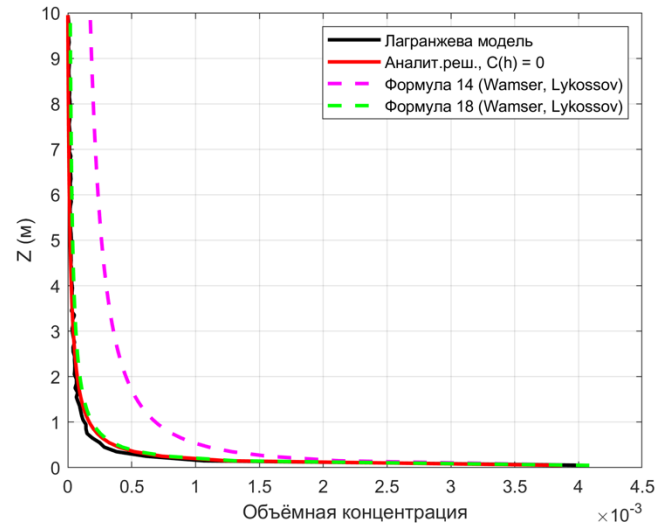


Верификация модели

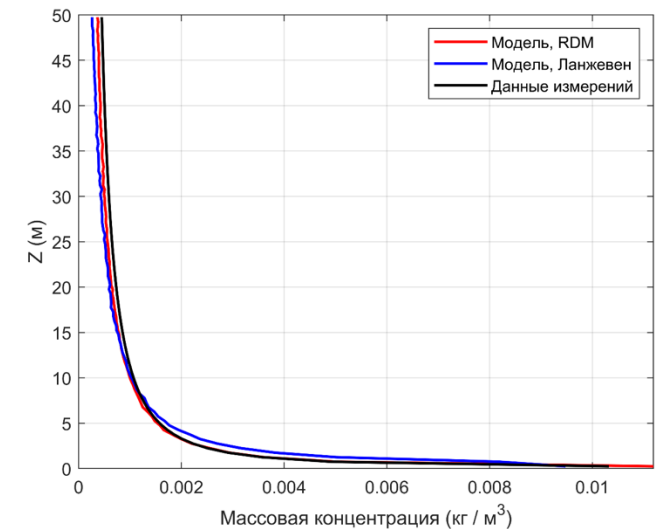
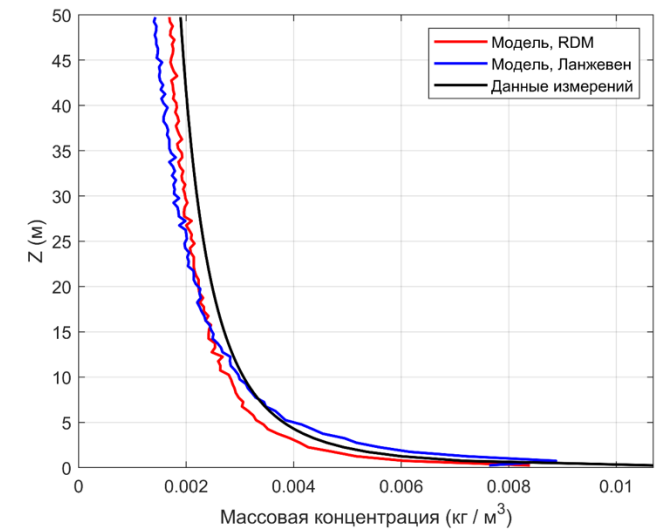
Аналитические решения для лёгких частиц



Аналитические решения для тяжелых частиц

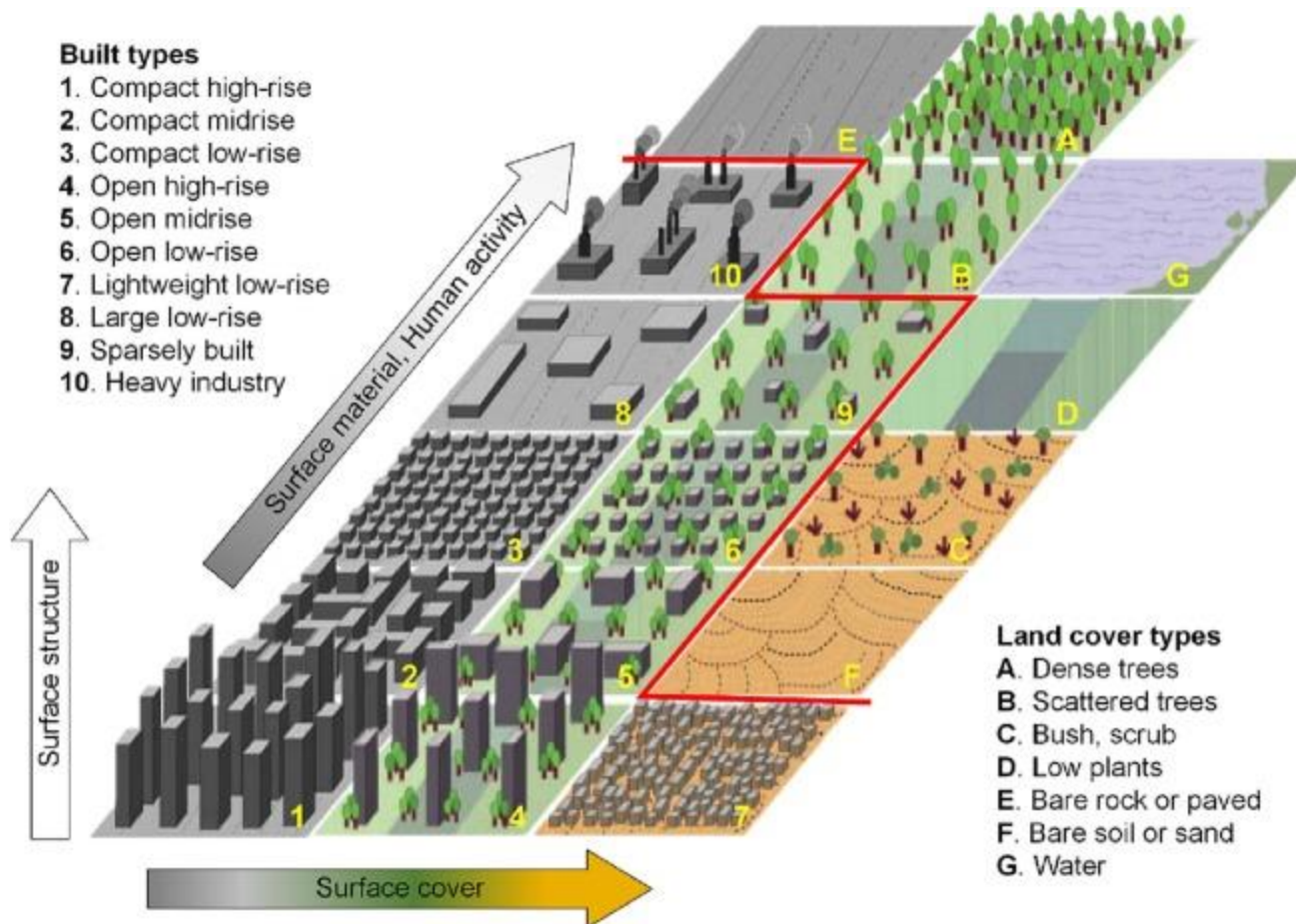


Данные измерений

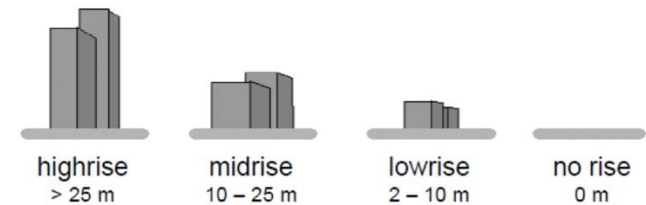


Перенос частиц в локальных климатических зонах

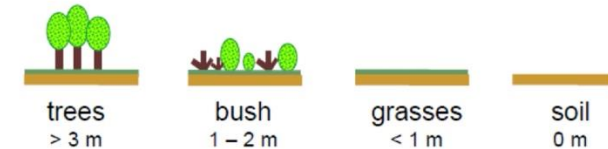
Для моделирования воздушных течений модуль переноса частиц внедрён в RANS/LES/DNS модель НИВЦ МГУ



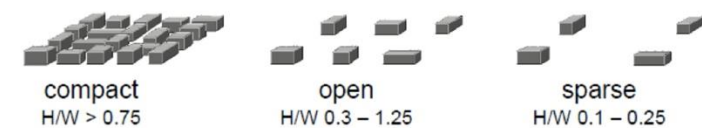
Buildings



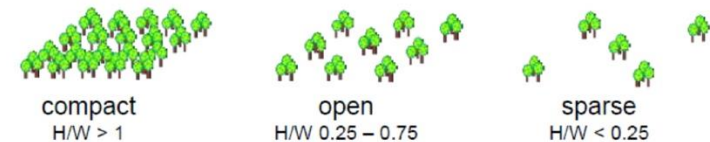
Vegetation



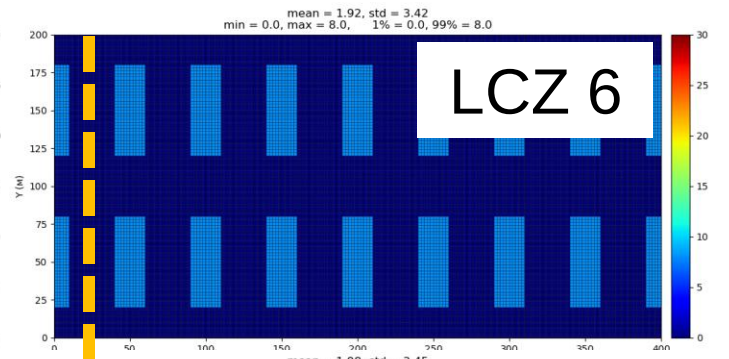
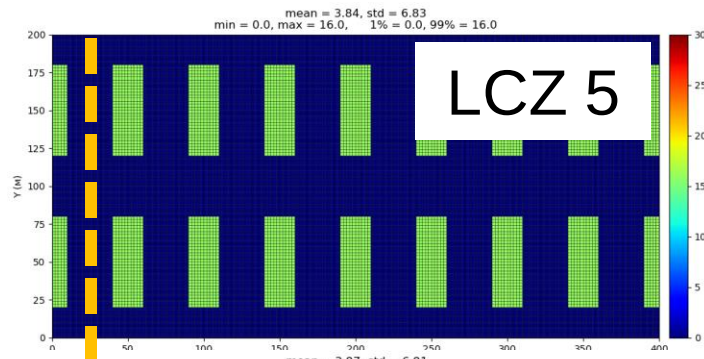
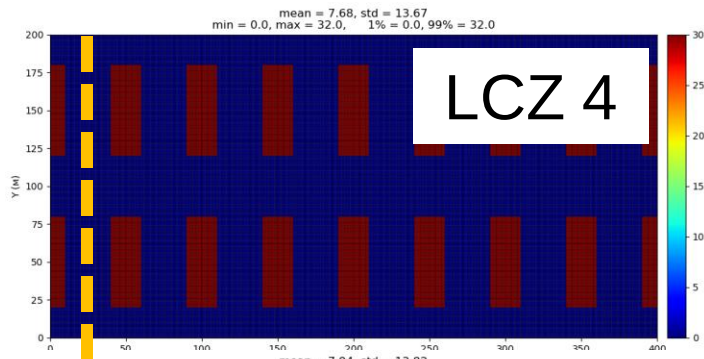
Buildings



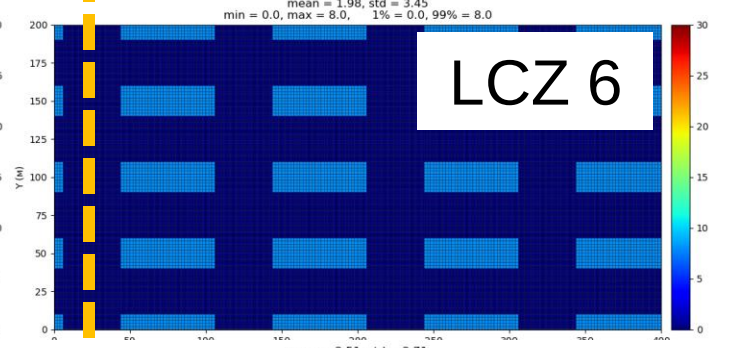
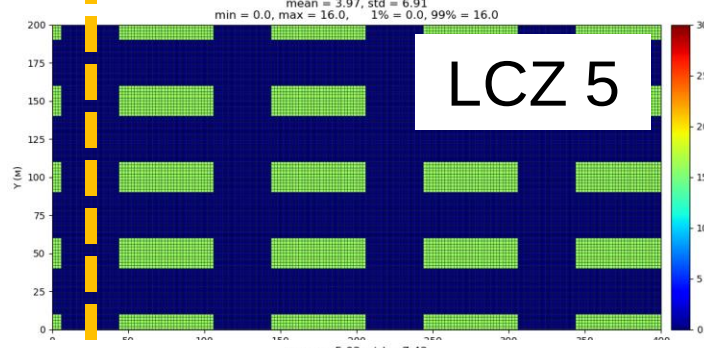
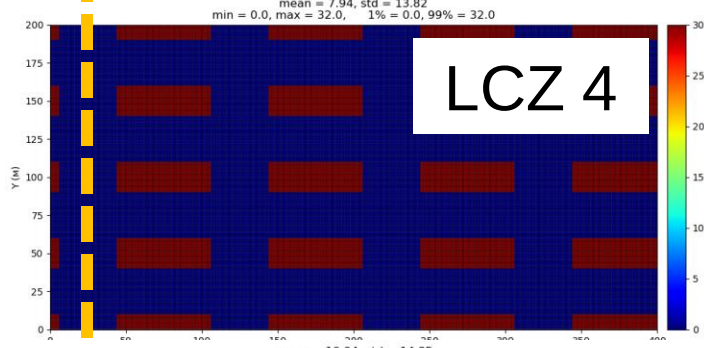
Vegetation



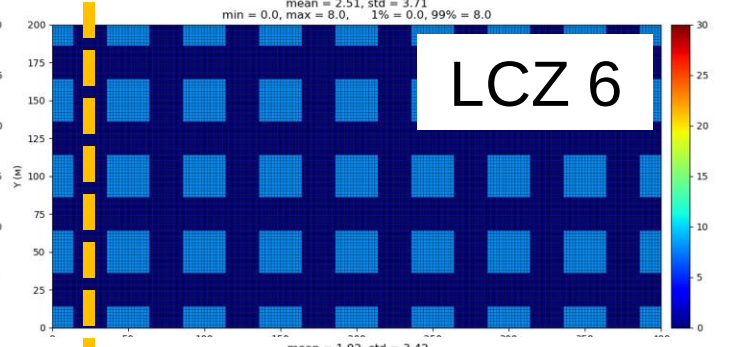
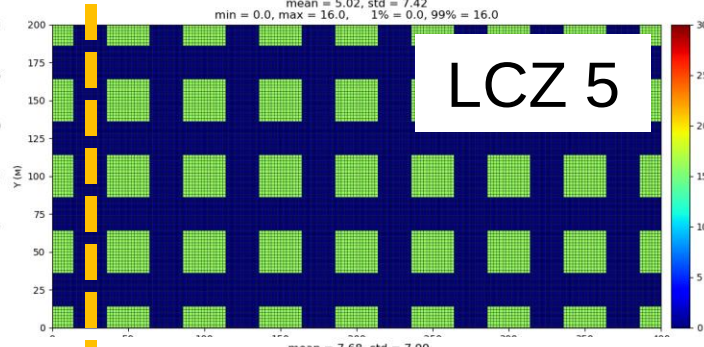
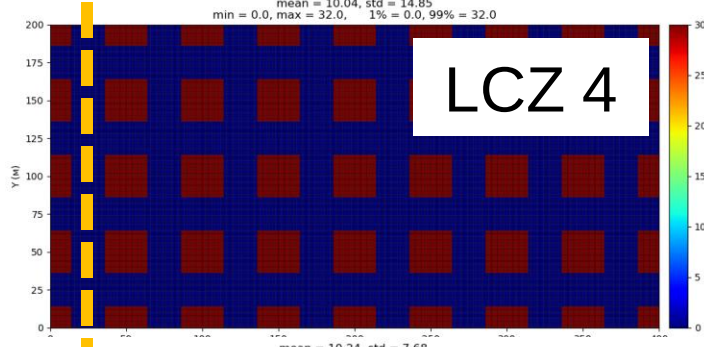
C1



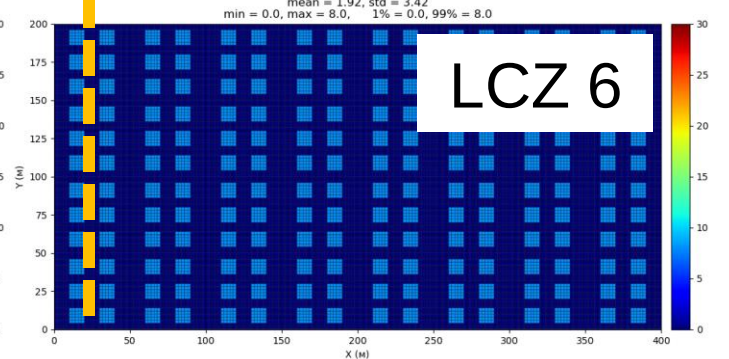
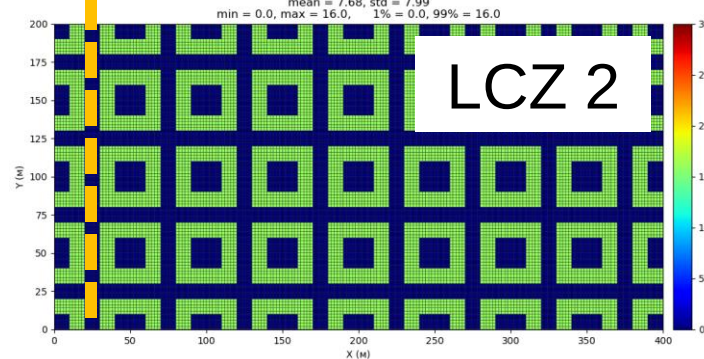
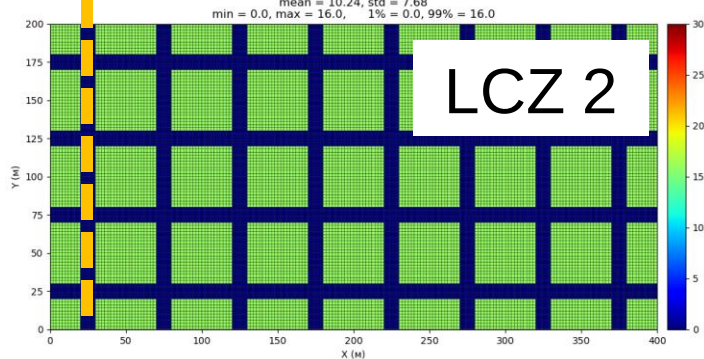
C2



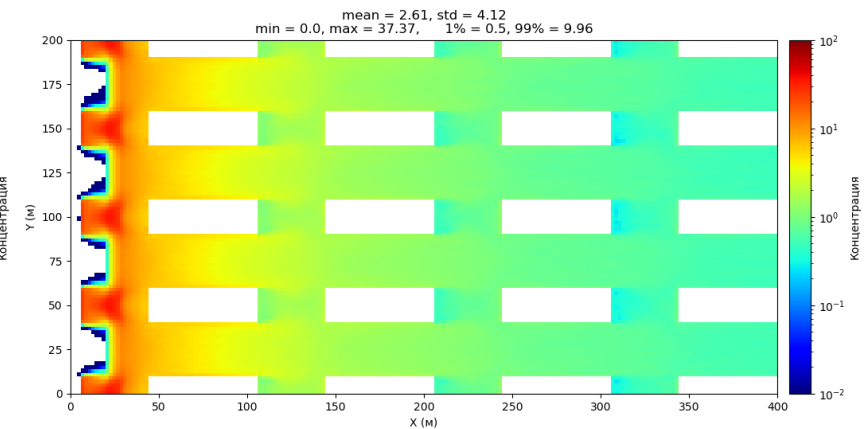
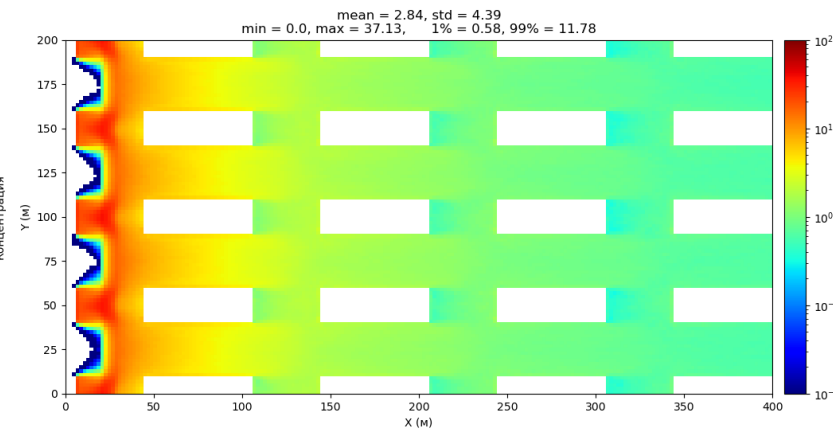
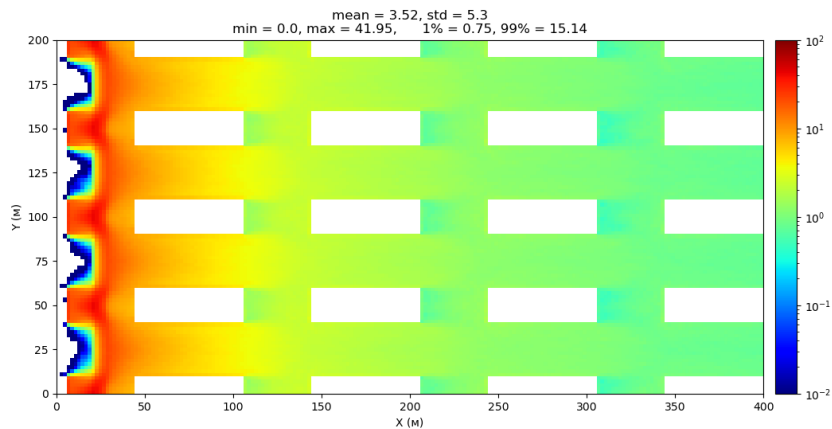
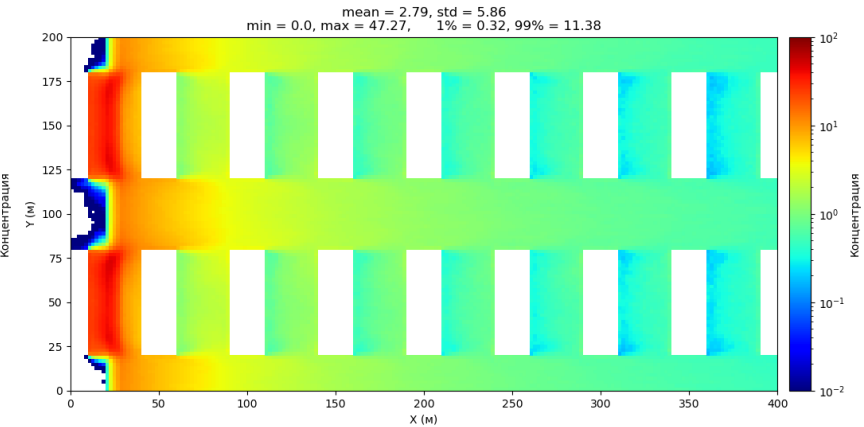
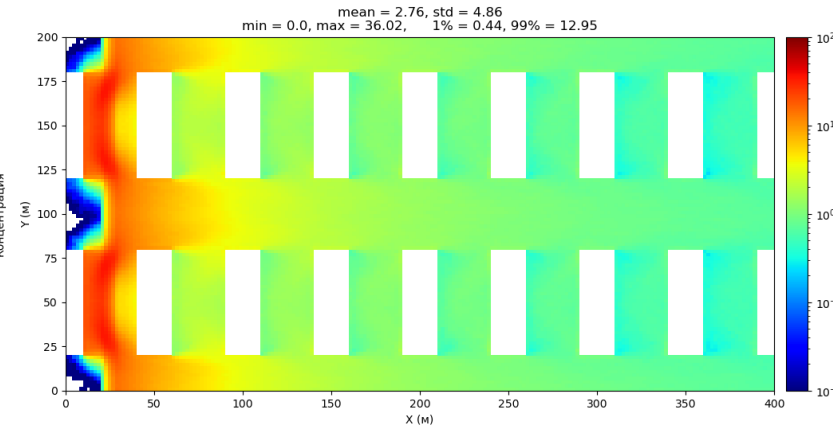
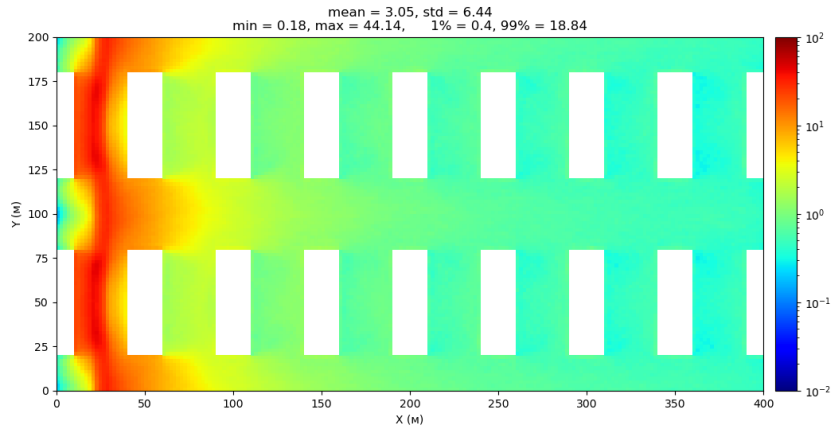
C3



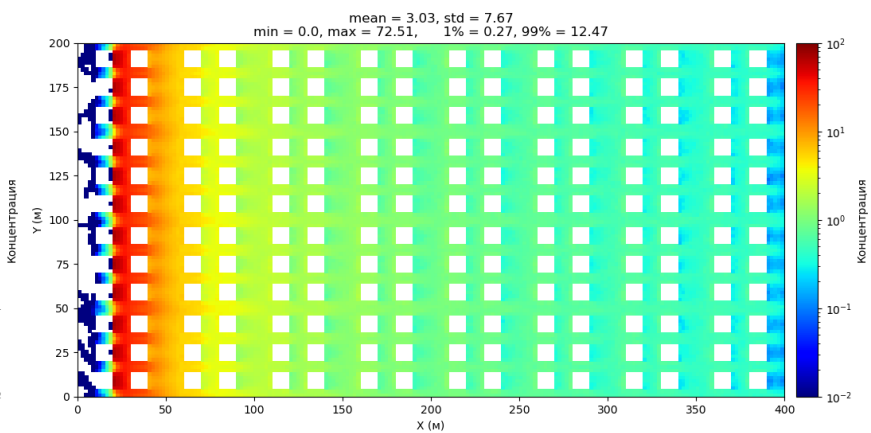
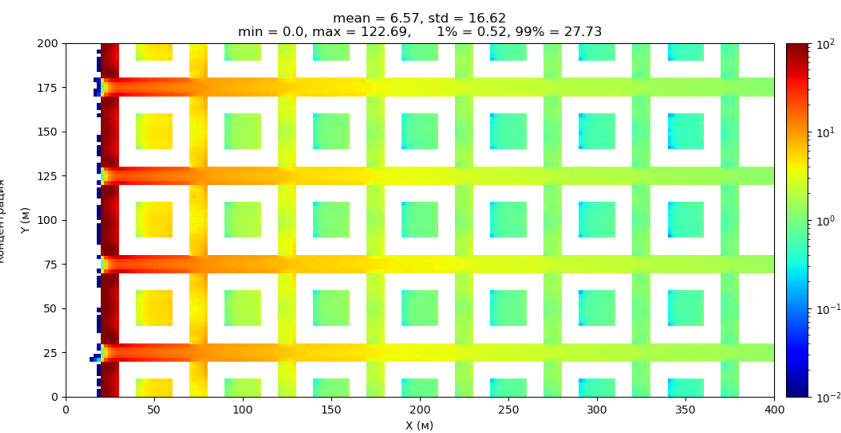
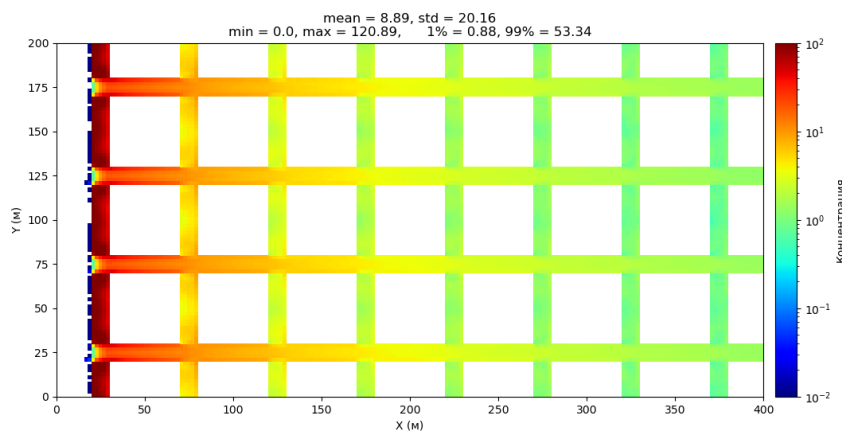
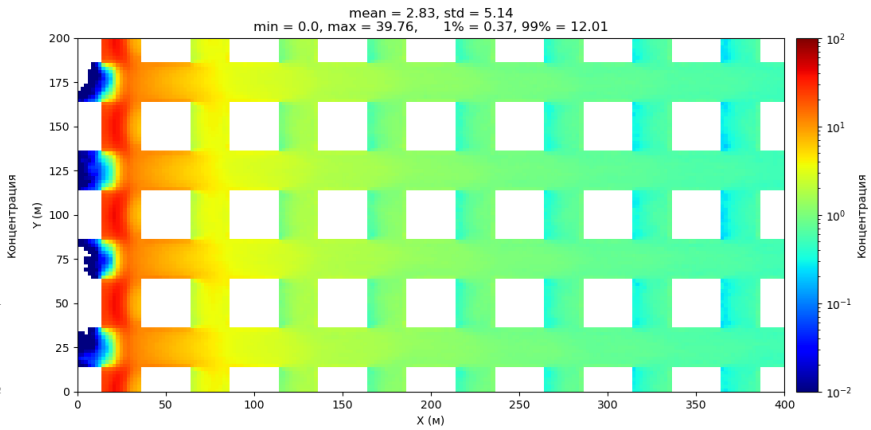
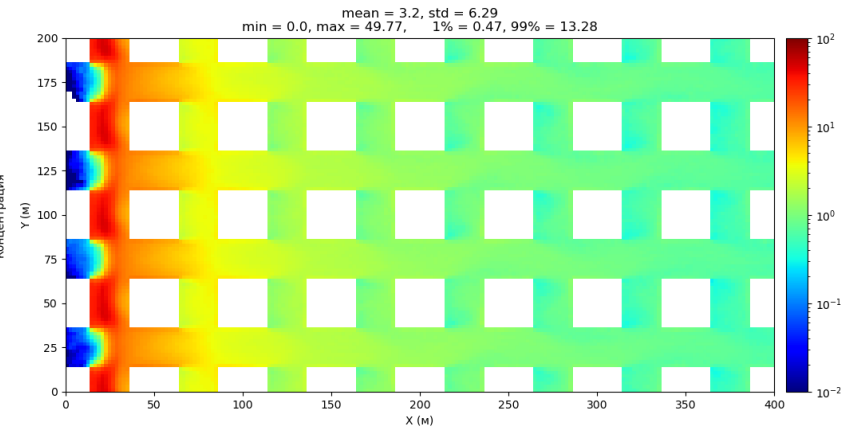
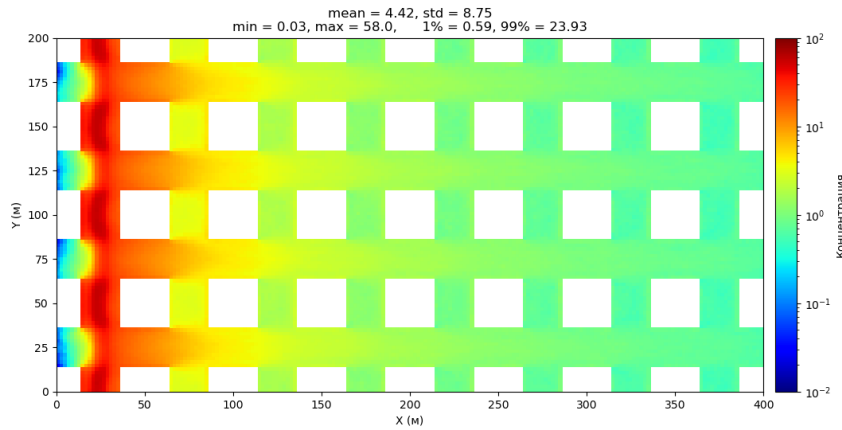
C4-6



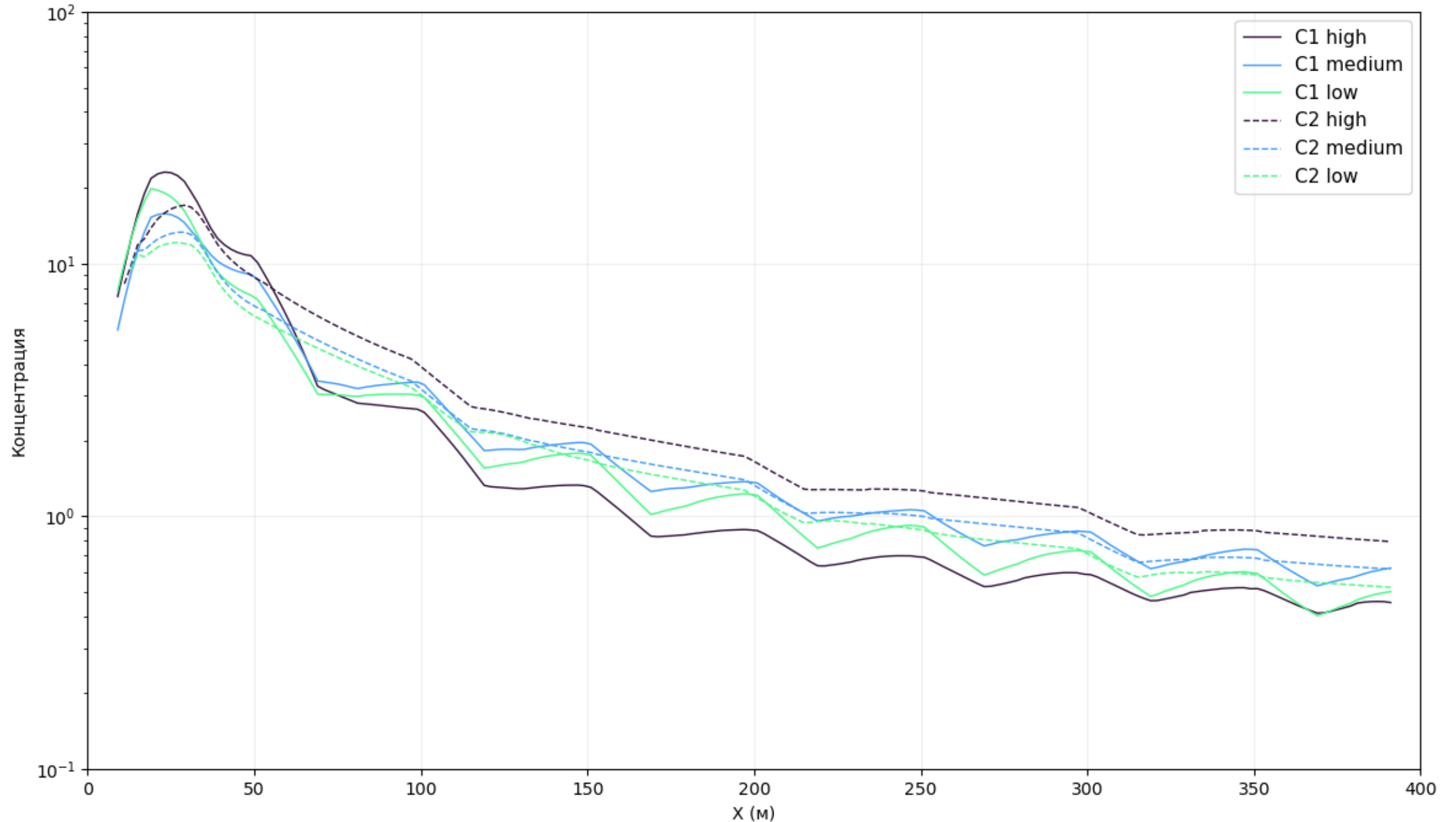
Концентрация частиц ($h = 0-4$ м, $d = 1$ мкм)



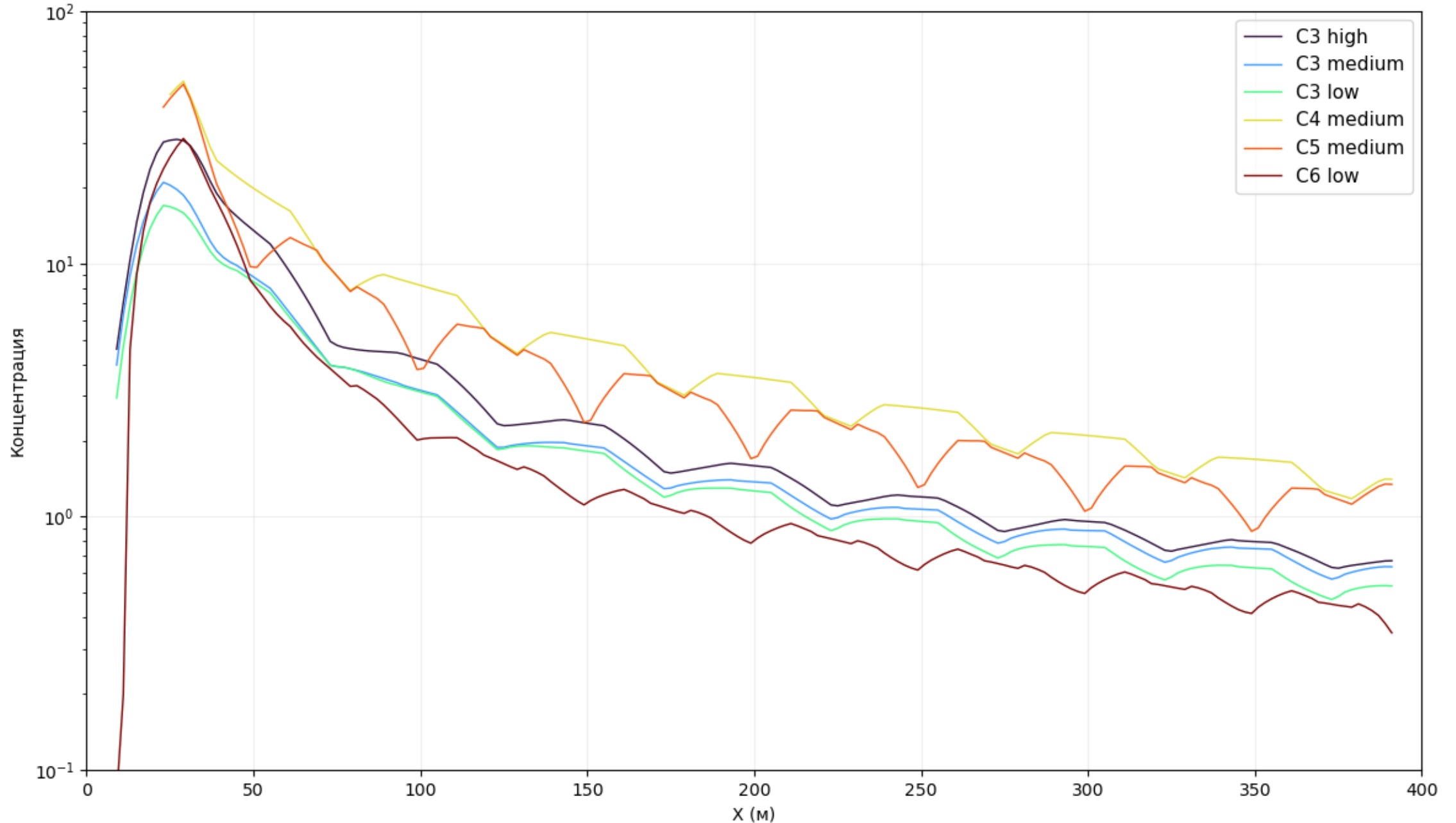
Концентрация частиц ($h = 0-4$ м, $d = 1$ мкм)



Концентрация частиц (гор. профиль для $h = 0-4$ м, $d = 1$ мкм)

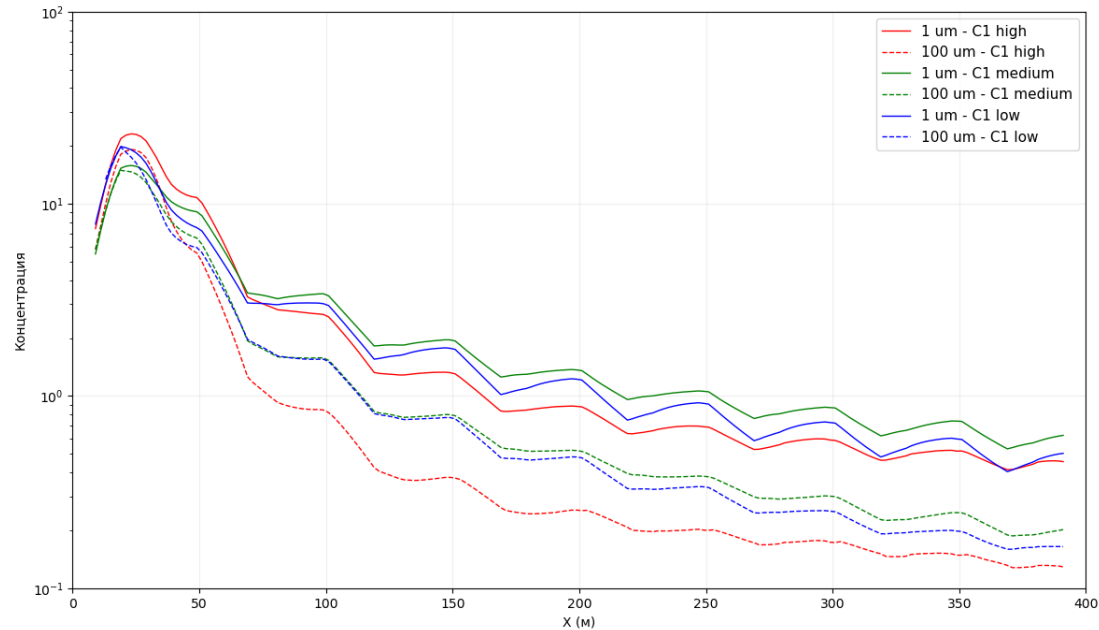
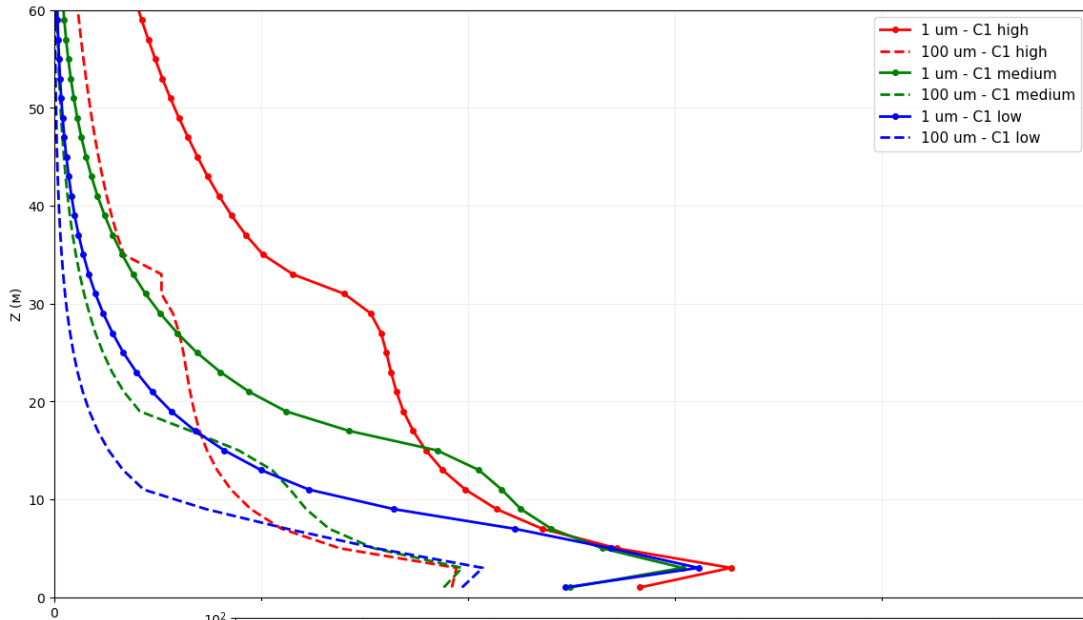


Концентрация частиц (гор. профиль для $h = 0-4$ м, $d = 1$ мкм)

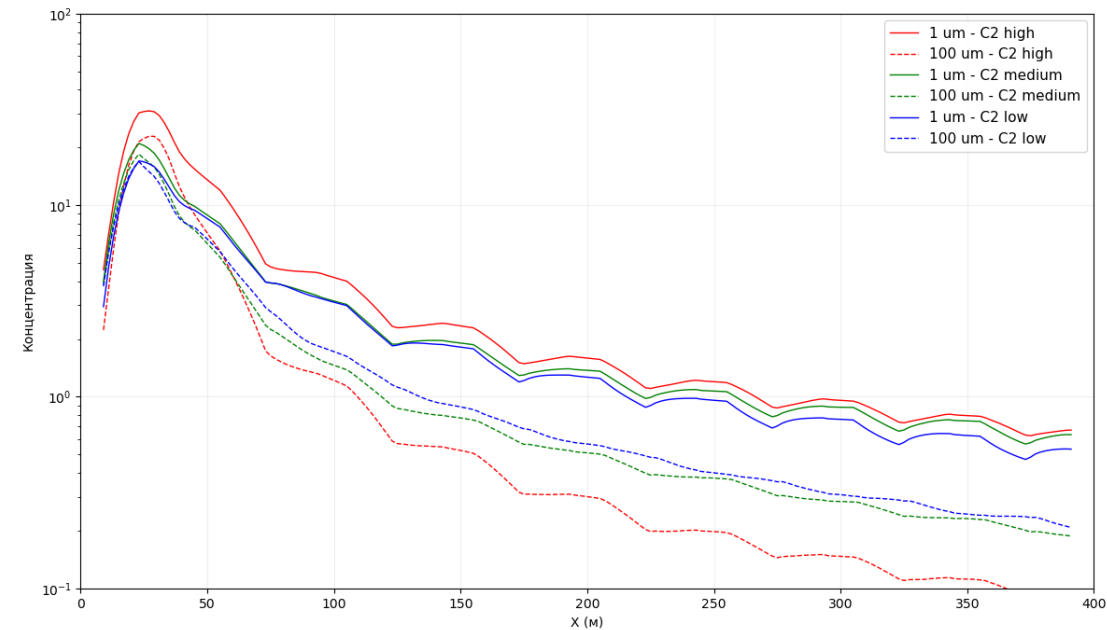
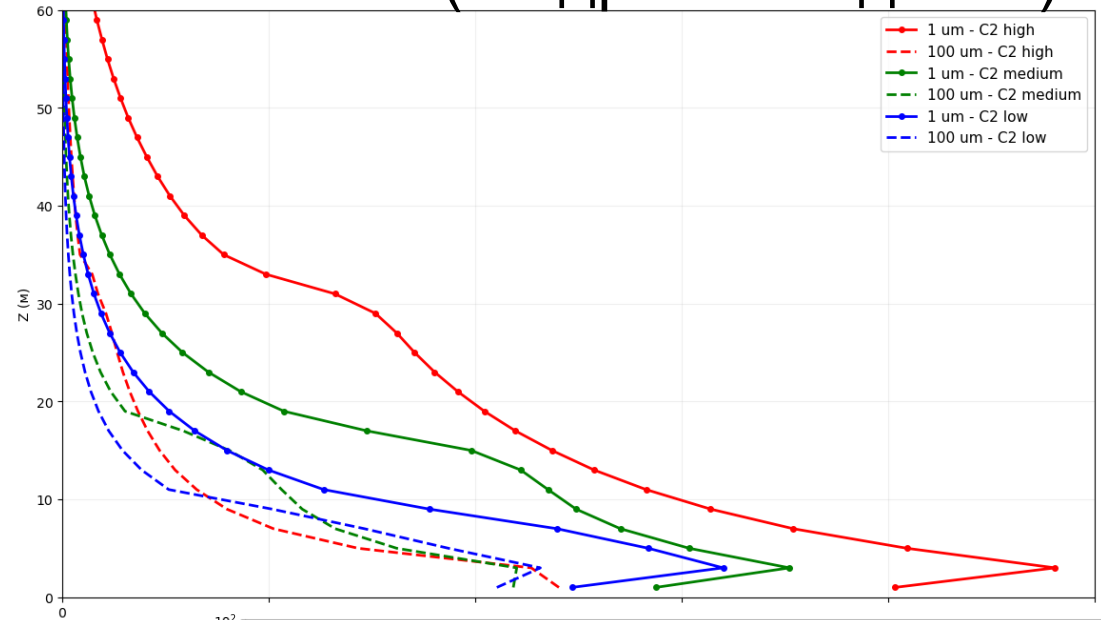


Концентрация частиц разного размера (верт. профиль)

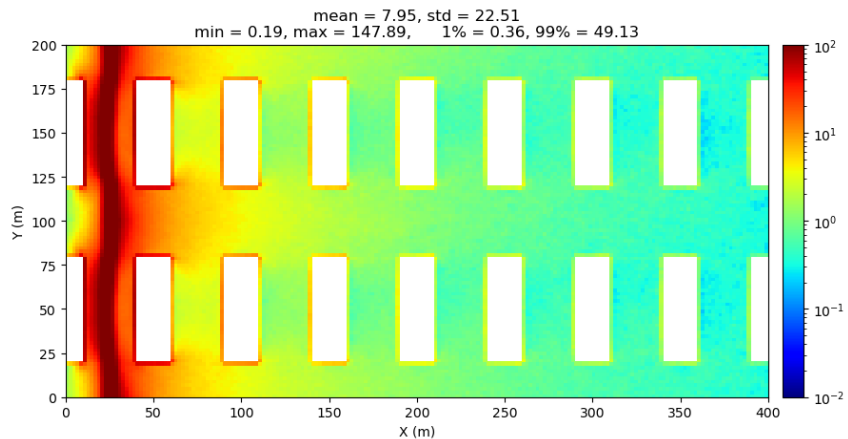
Каньоны



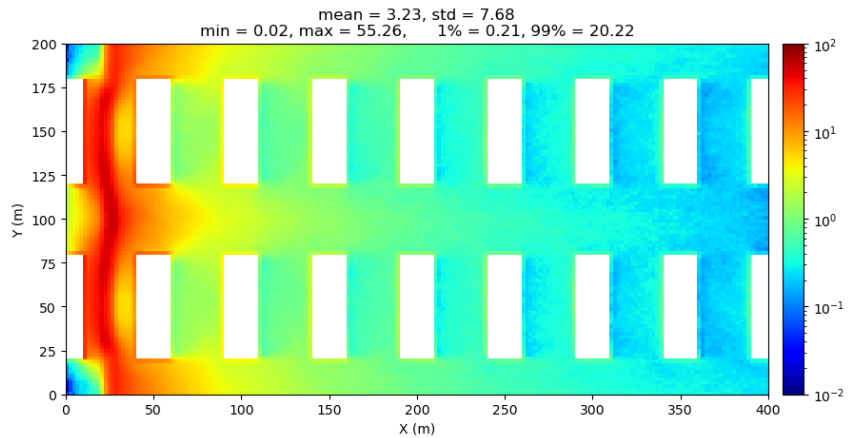
Башни (квадратные здания)



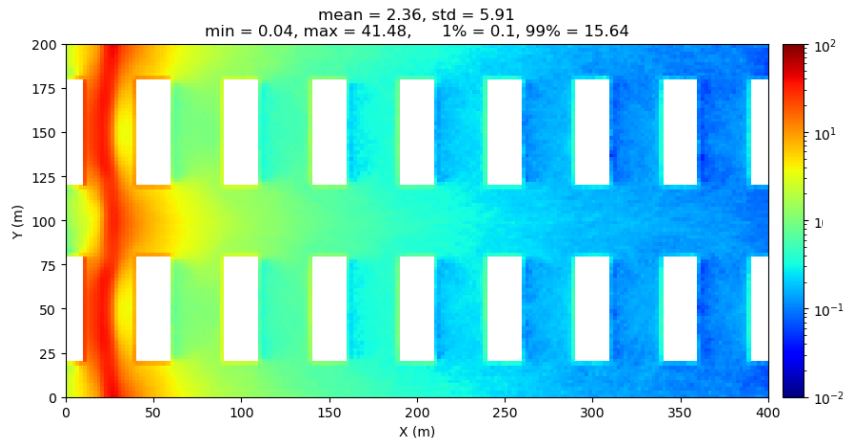
Влияние стратификации



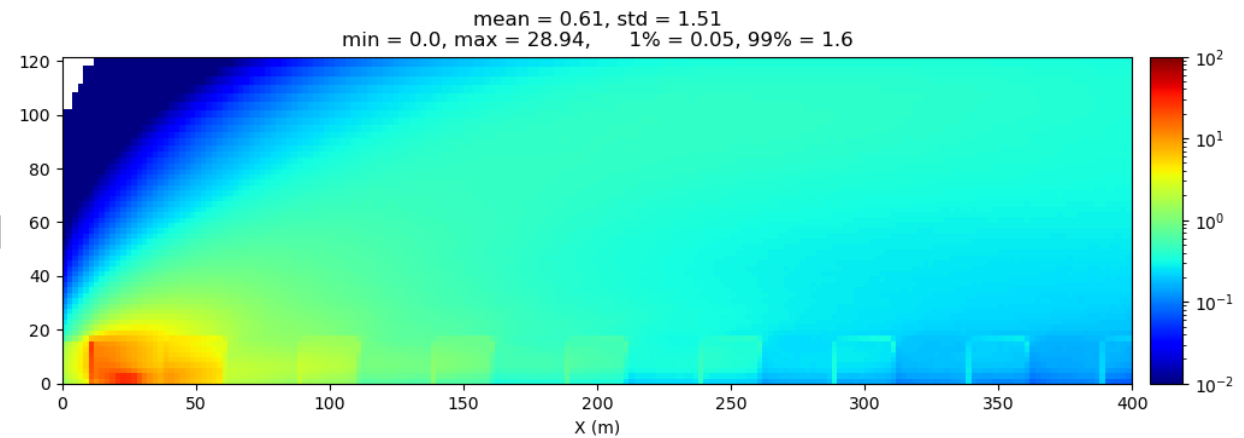
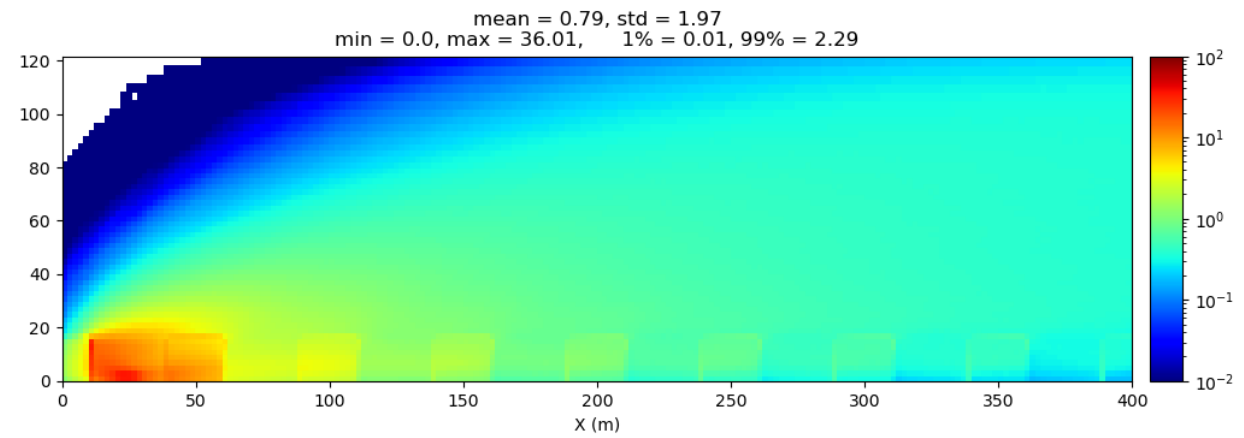
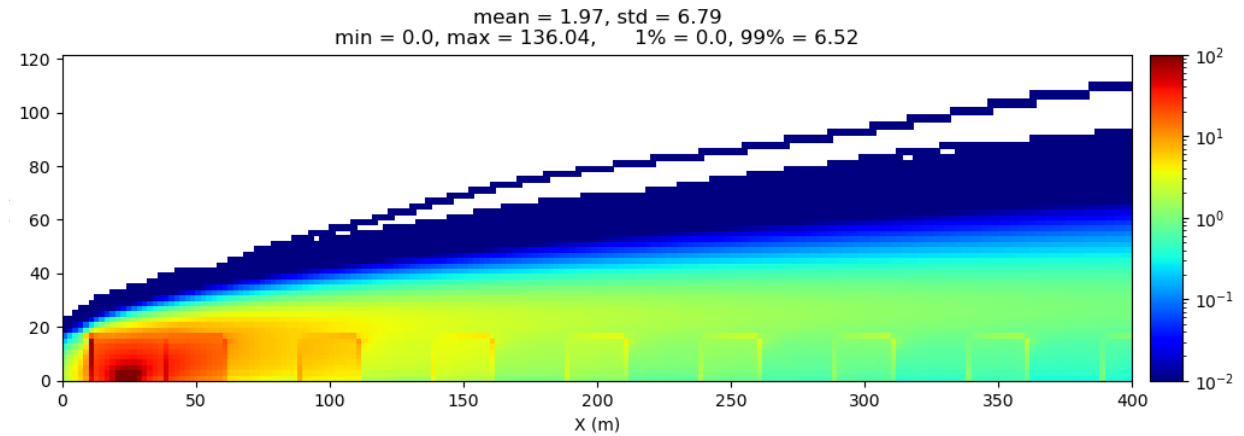
Устойчивая



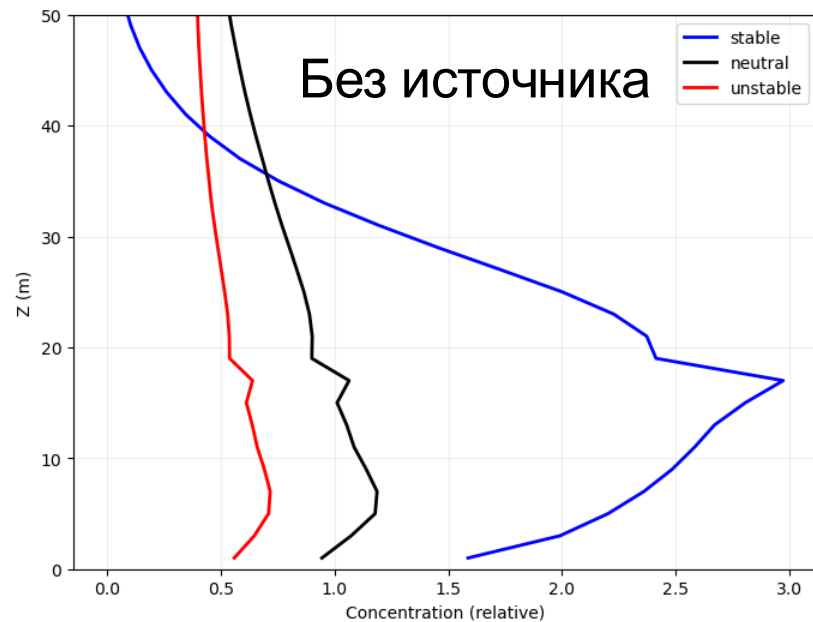
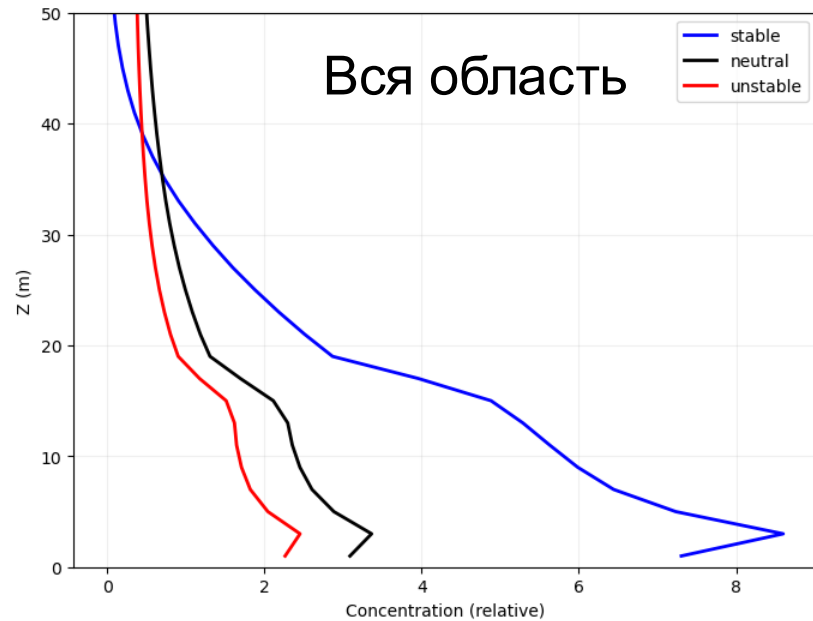
Нейтральная



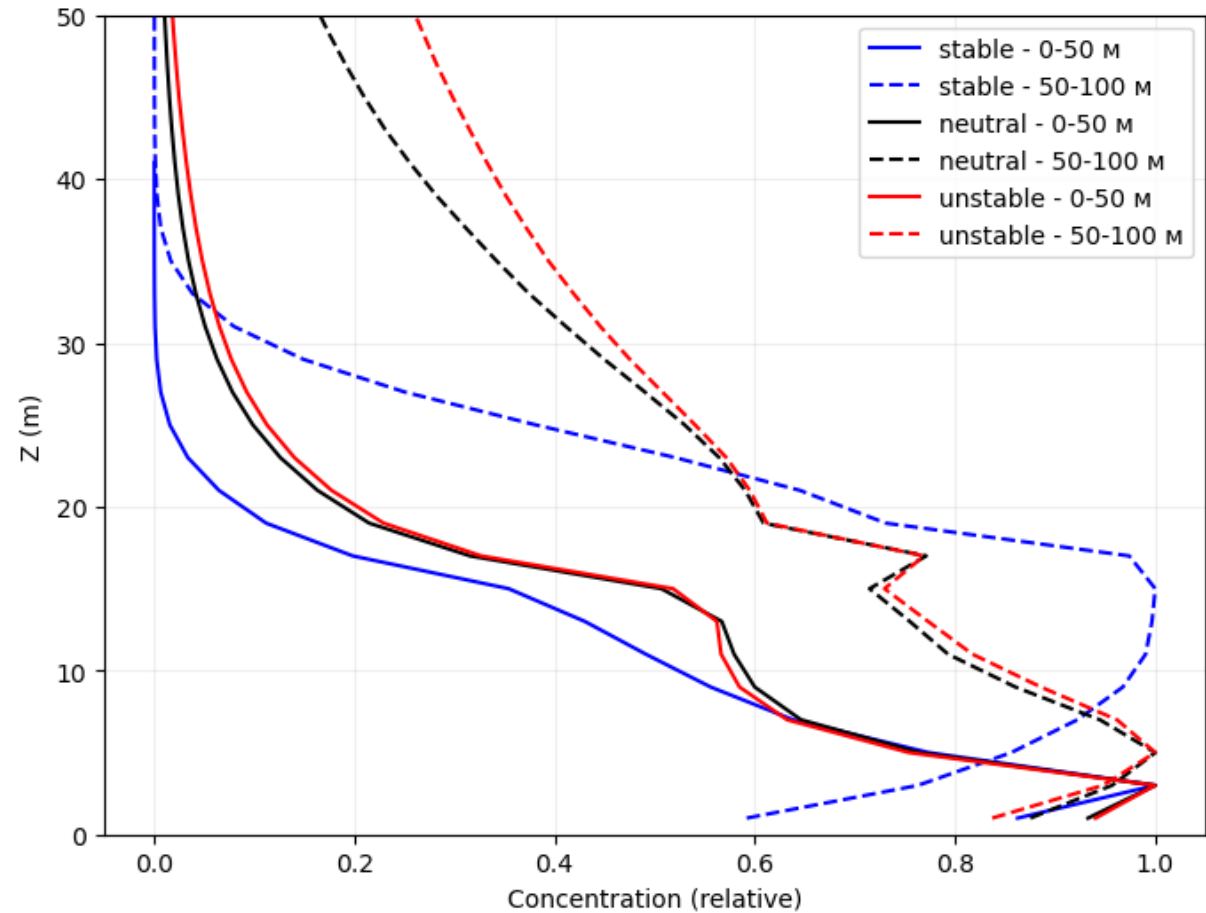
Неустойчивая



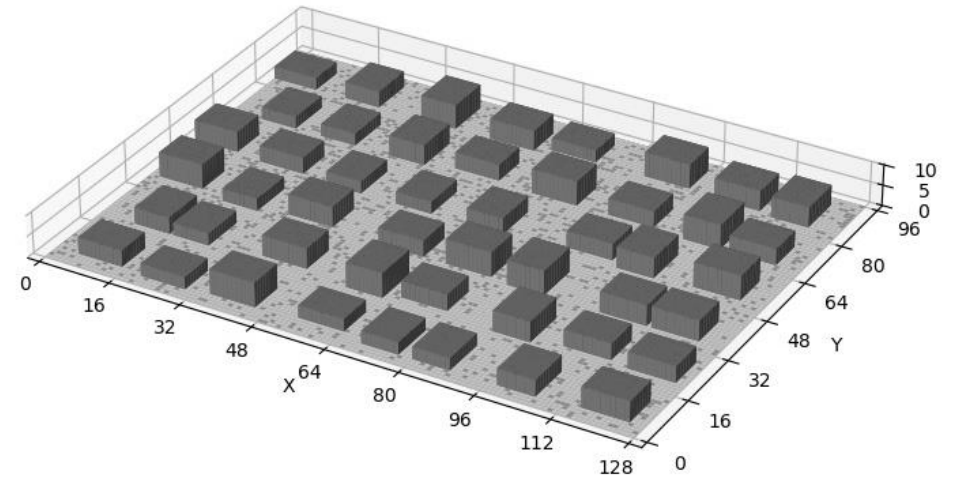
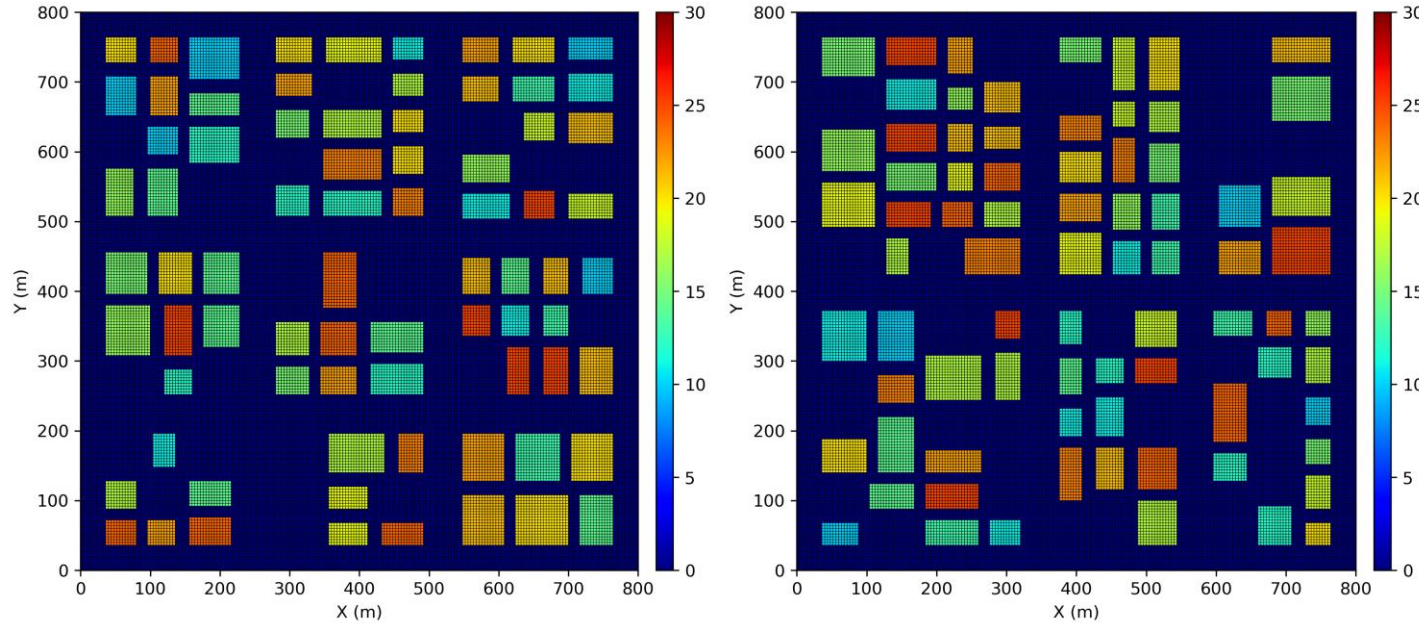
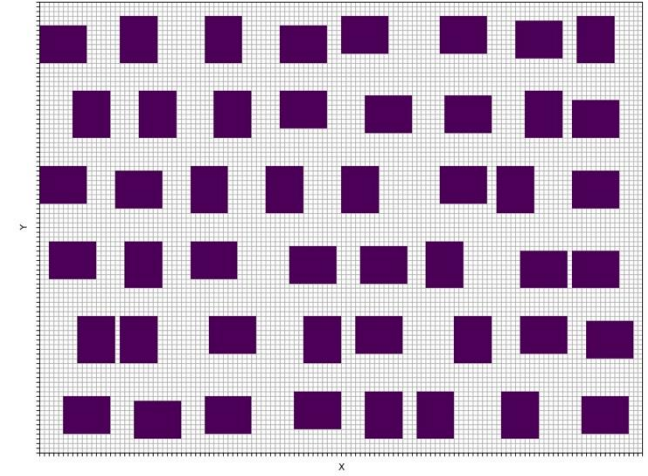
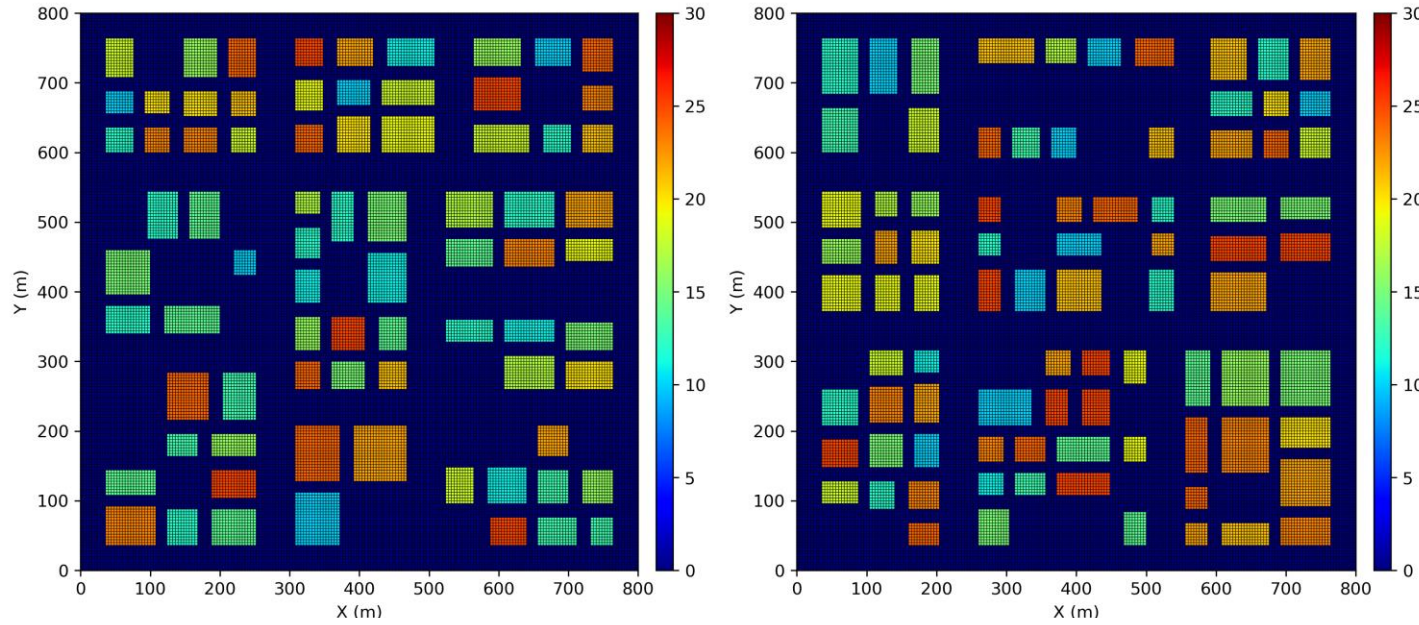
Вертикальные профили концентраций



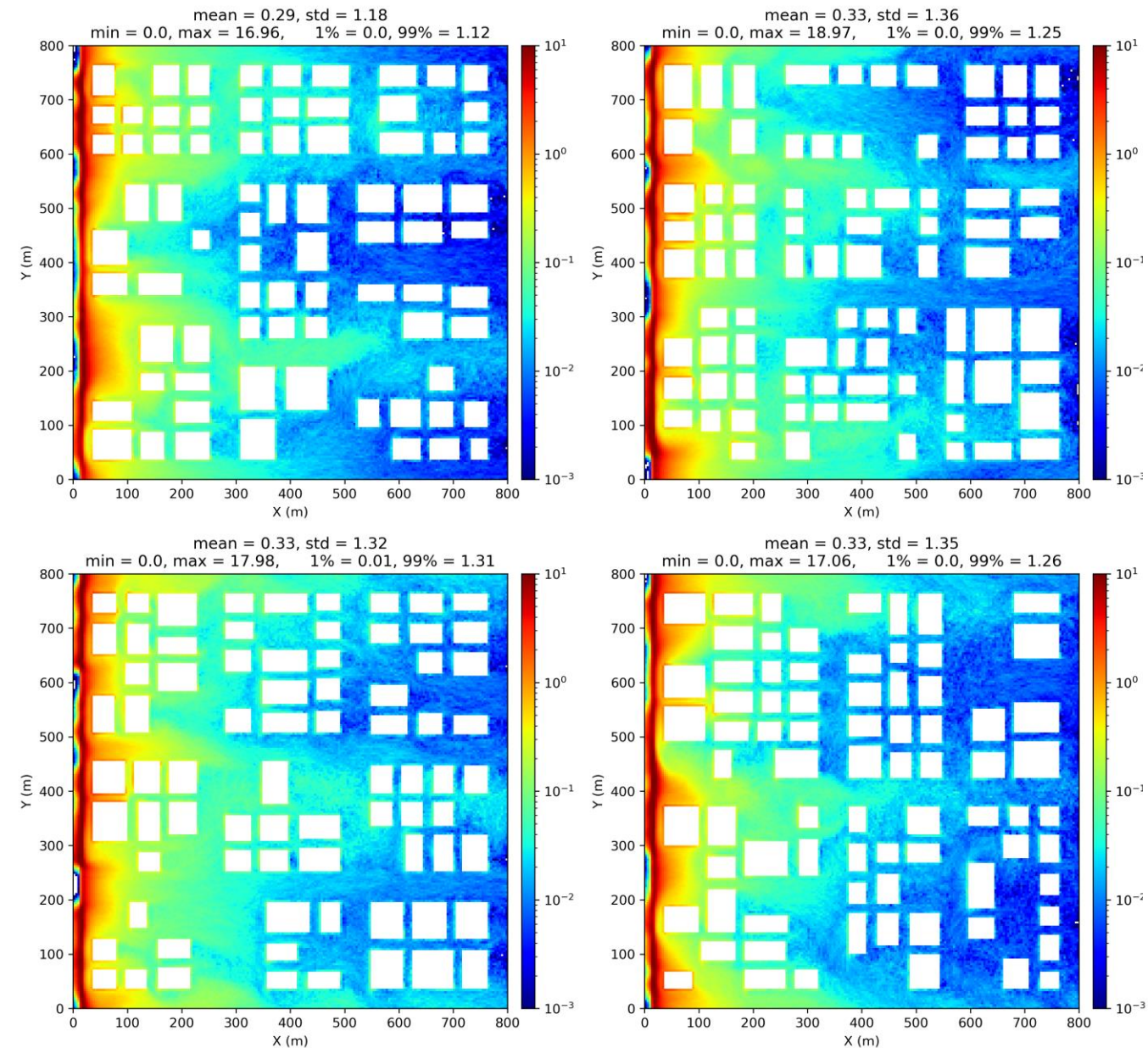
Сравнение 1-го и 2-го каньонов



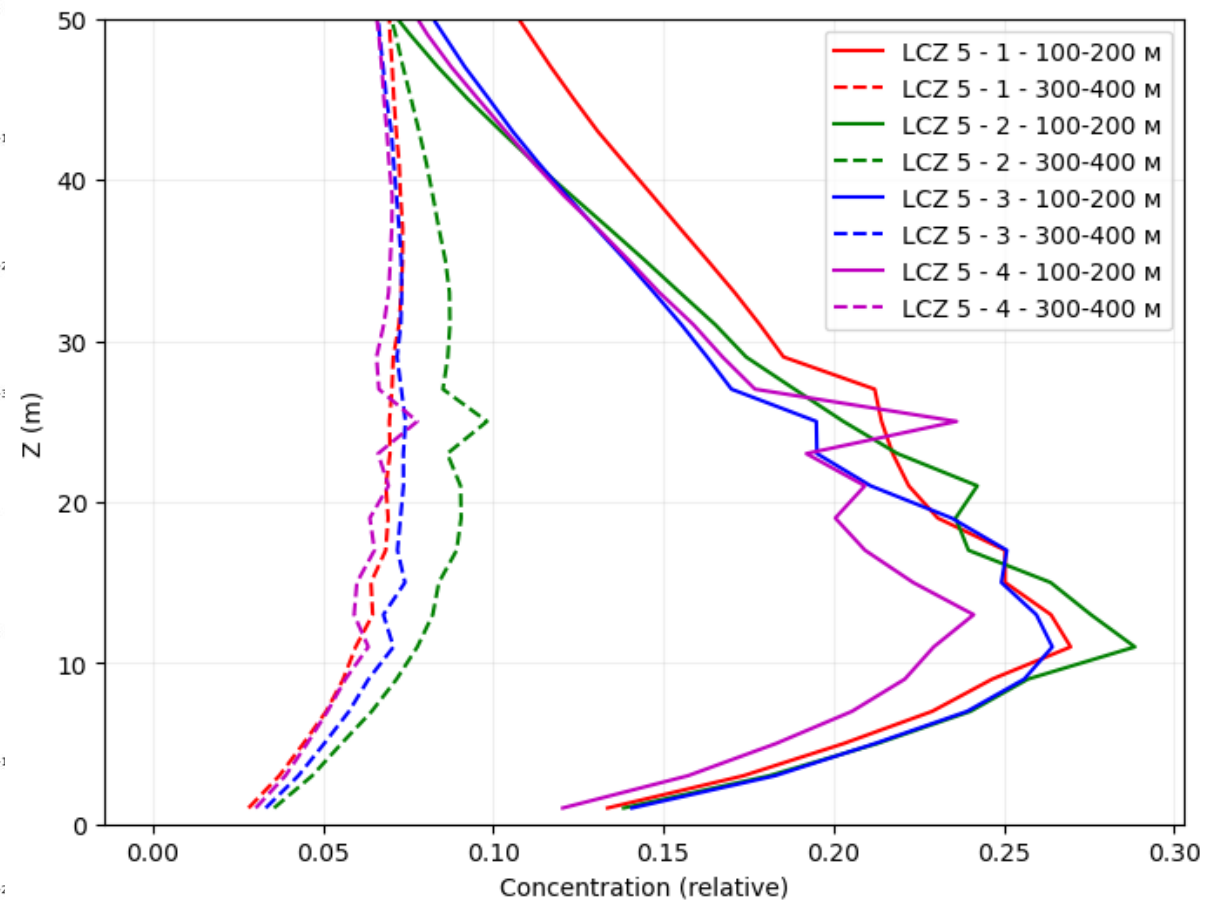
Генерация LCZ-застройки



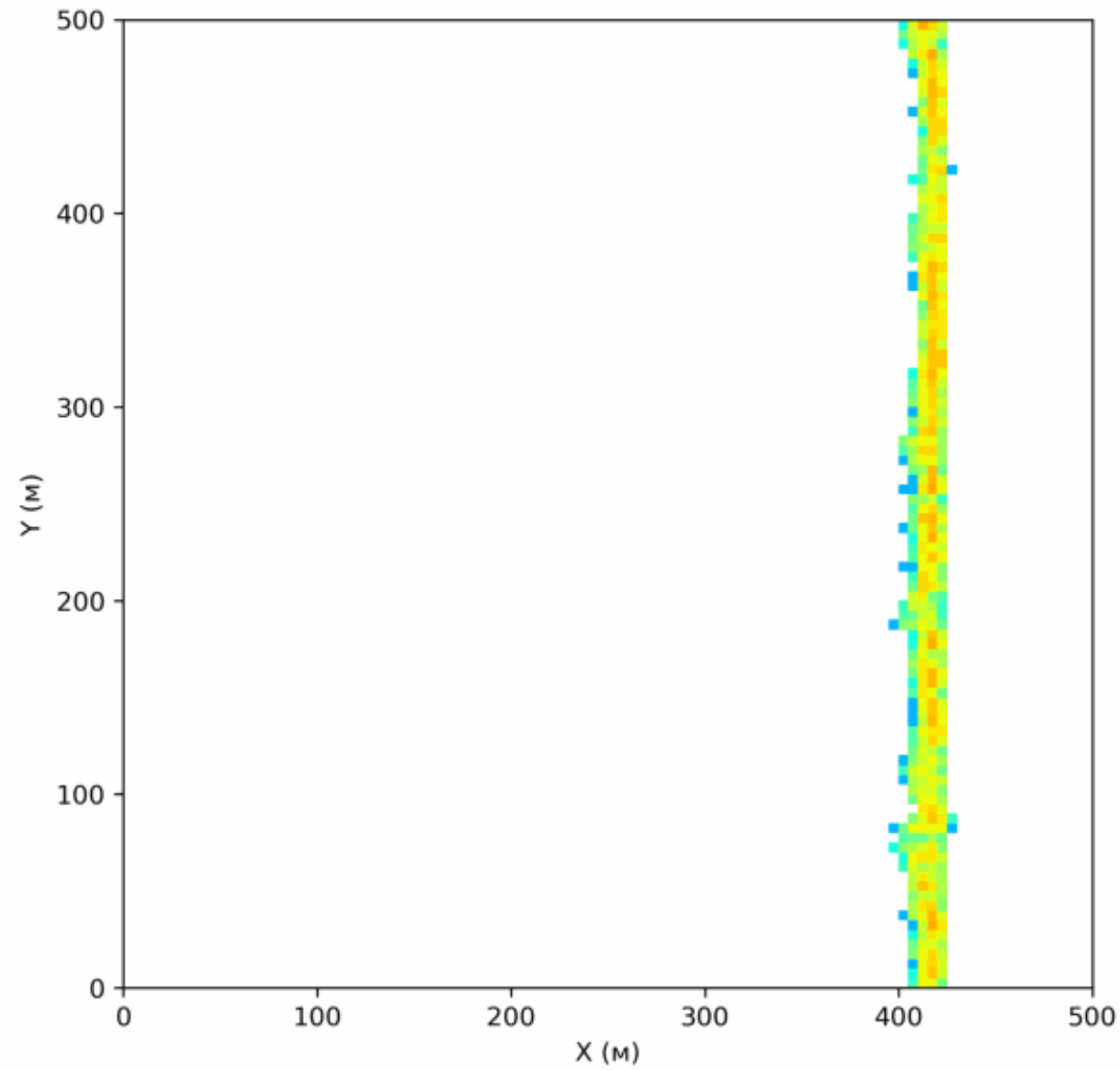
Вариации LCZ 5



Разница в пределах 20%



Реалистичная застройка



Результаты

- **Создан и апробирован** на городской застройке **инструмент** для моделирования распространения аэрозольных частиц с высоким разрешением
- Получены предварительные выводы о различиях особенностей вентилирования как между разными LCZ (**значительные различия**), так и между разными реализациями одной LCZ (**сильно зависит от способа реализации LCZ**)

Планы:

- Реализация вероятностного осаждения, сальтации, влажного осаждение
- Верификация инструмента на городских экспериментах
- Проведение полного набора экспериментов
«конфигурация застройки - стратификация атмосферы - размер частиц»
- Анализ внутренней вариативности для большего числа LCZ