

**Тестирование параметризаций
городского пограничного слоя
с использованием данных
дистанционного зондирования**

Варенцов М.И.,
студент IV курса Кафедры метеорологии и
климатологии Географического факультета МГУ

Константинов П.И.,
к.г.н., старший преподаватель Кафедры
метеорологии и климатологии Географического
факультета МГУ

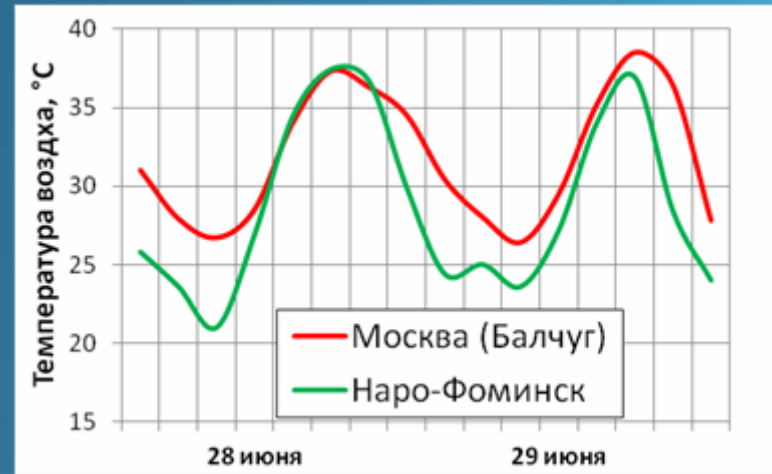
МОТИВАЦИЯ

Актуальная задача:

Улучшение качества прогноза погоды в мегаполисах

Проблемы:

- Микроклиматическая пестрота городского ландшафта
- Влияние застройки на состояние пограничного слоя



МОТИВАЦИЯ

Мезомасштабное
моделирование

Вихреразрешающее
моделирование

Downscaling
+
Микромасштабное
моделирование



Проблема параметризации
городских эффектов

ПЛАН ИССЛЕДОВАНИЯ

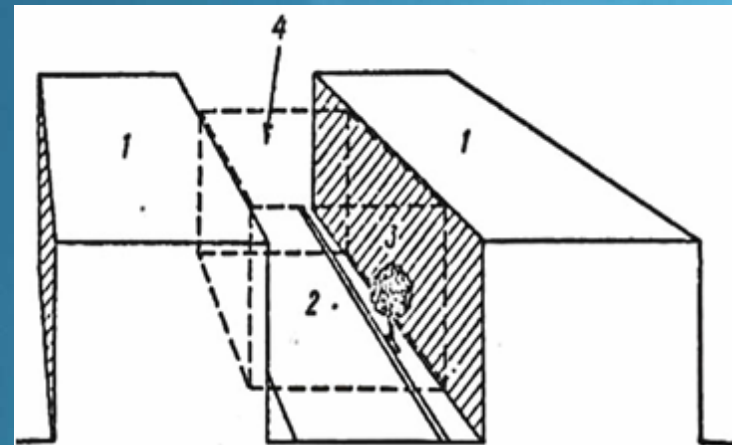
Экспериментальные
наблюдения



Разработка модели
городского пограничного слоя
на базе концепции
городского каньона

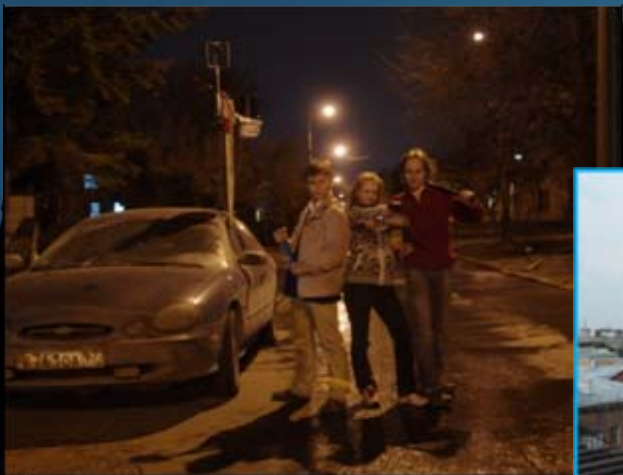


Сравнение модельных
данные с наблюдениями



*Схема городского каньона
(Nunex, Oke, 1987)*

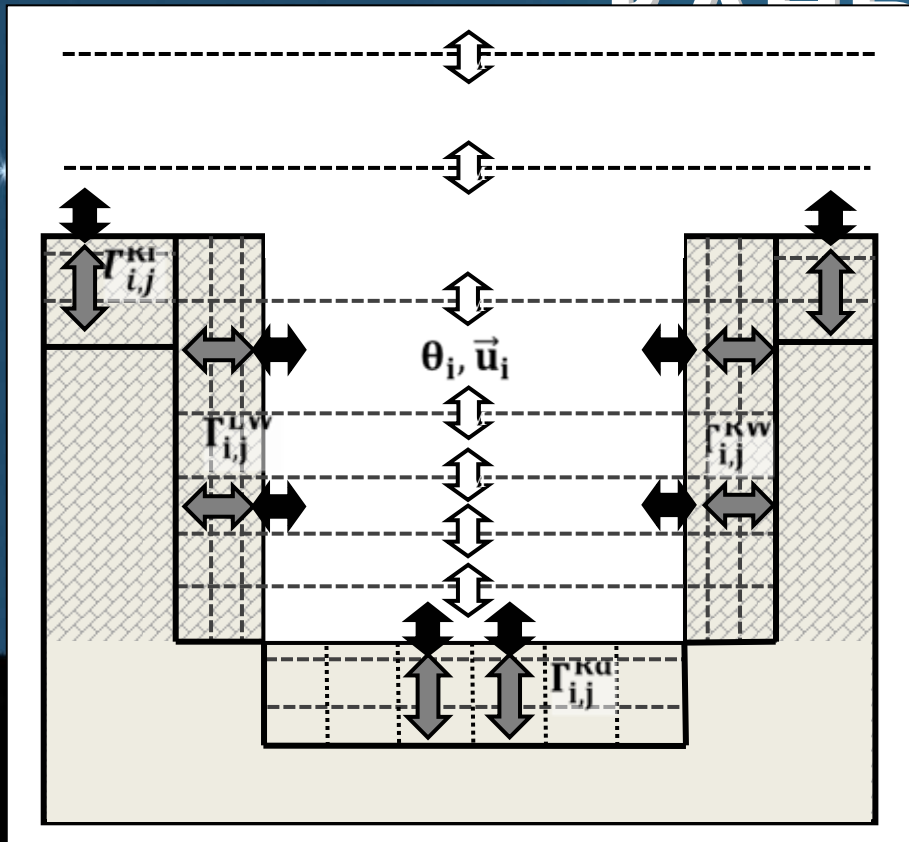
ЭКСПЕРИМЕНТ UrbEX-2011



ЭКСПЕРИМЕНТ UrbEX-2011



МОДЕЛЬ ГОРОДСКОГО КАНЬОНА

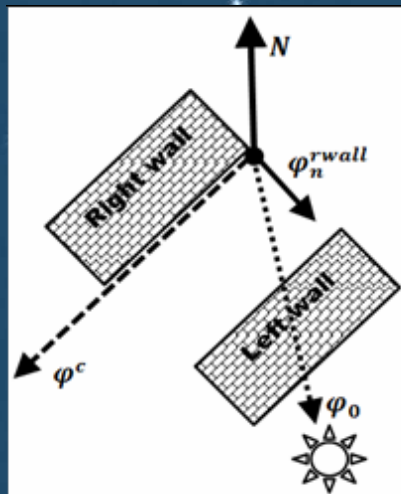


$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{\rho C_p} \left(\frac{\partial \tau_{ux}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{uy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{uz}}{\partial z} + S_{\tau_v} \right)$$

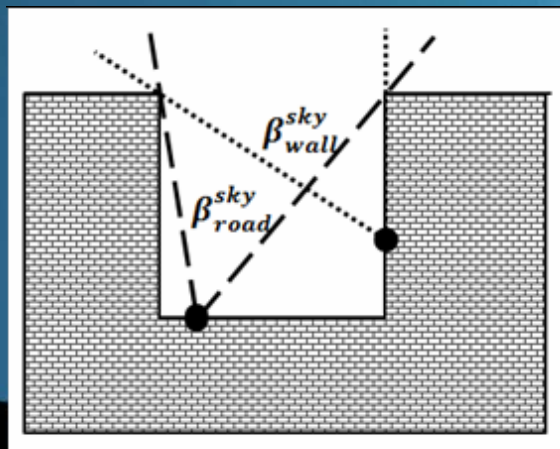
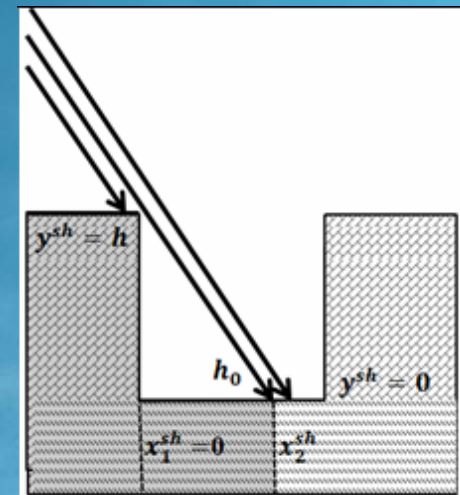
$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{\rho C_p} \left(\frac{\partial \tau_{vx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{vy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{vz}}{\partial z} + S_{\tau_v} \right)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{\rho C_p} \left(\frac{\partial H_x}{\partial x} + \frac{\partial H_y}{\partial y} + \frac{\partial H_z}{\partial z} + S_H \right)$$

РАДИАЦИОННЫЙ БЛОК МОДЕЛИ



- ✓ Учет взаимного затенения поверхностей
- ✓ Учет sky-view фактора
- ✓ Учет переотражения и переизлучений в каньоне



ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН

Для горизонтальных поверхностей:

Bulk-формулы:

$$\tau_z = \rho u_z^2 \cdot C_m(z, z_0, \xi, \Psi_m)$$

$$H_z = \rho c_p u_z \Delta T \cdot C_h(z, z_0, z_{0h}, \xi, \Psi_m, \Psi_h)$$

Параметры шероховатости:

z_0 - экспериментальная оценка

$$z_{0h} = \frac{z_0}{\exp(2.46(Re^*)^{0.25} - 2.0)} \quad (\text{Brutsert, 1982})$$

Универсальные функции Ψ_m, Ψ_h :

Bussinger (1971), Grachev (1998),

Grachev (2007, данные SHEBA)

Параметр устойчивости ξ :

Численное решение уравнения:

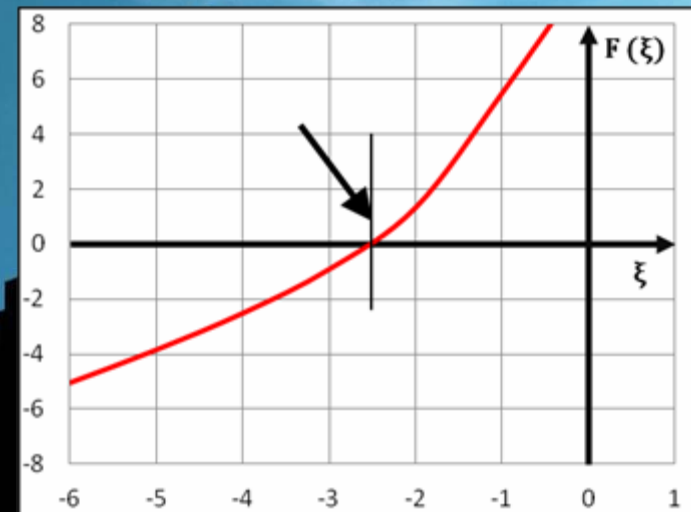
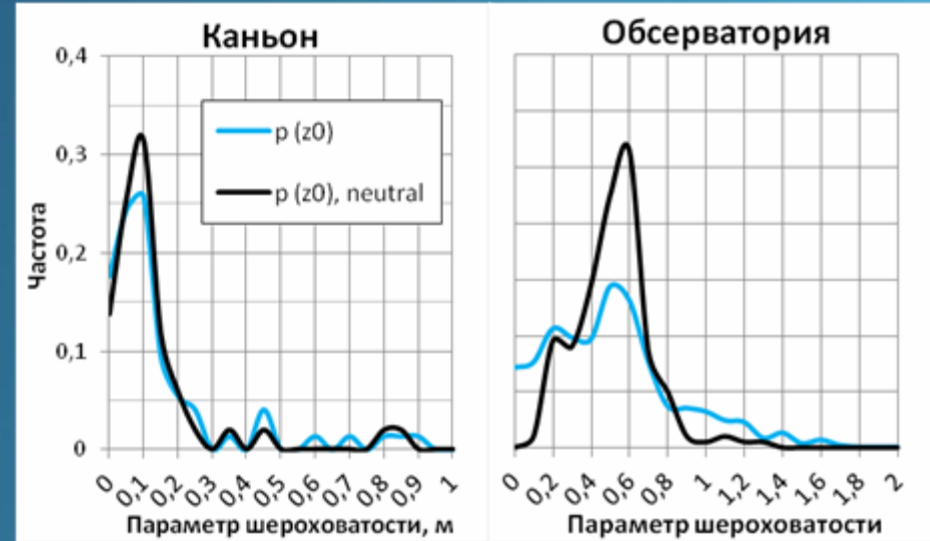
$$F(\xi) = \frac{z\kappa\beta H(\xi)}{\rho c_p u_*^3} - \xi = 0$$

Для вертикальных поверхностей:

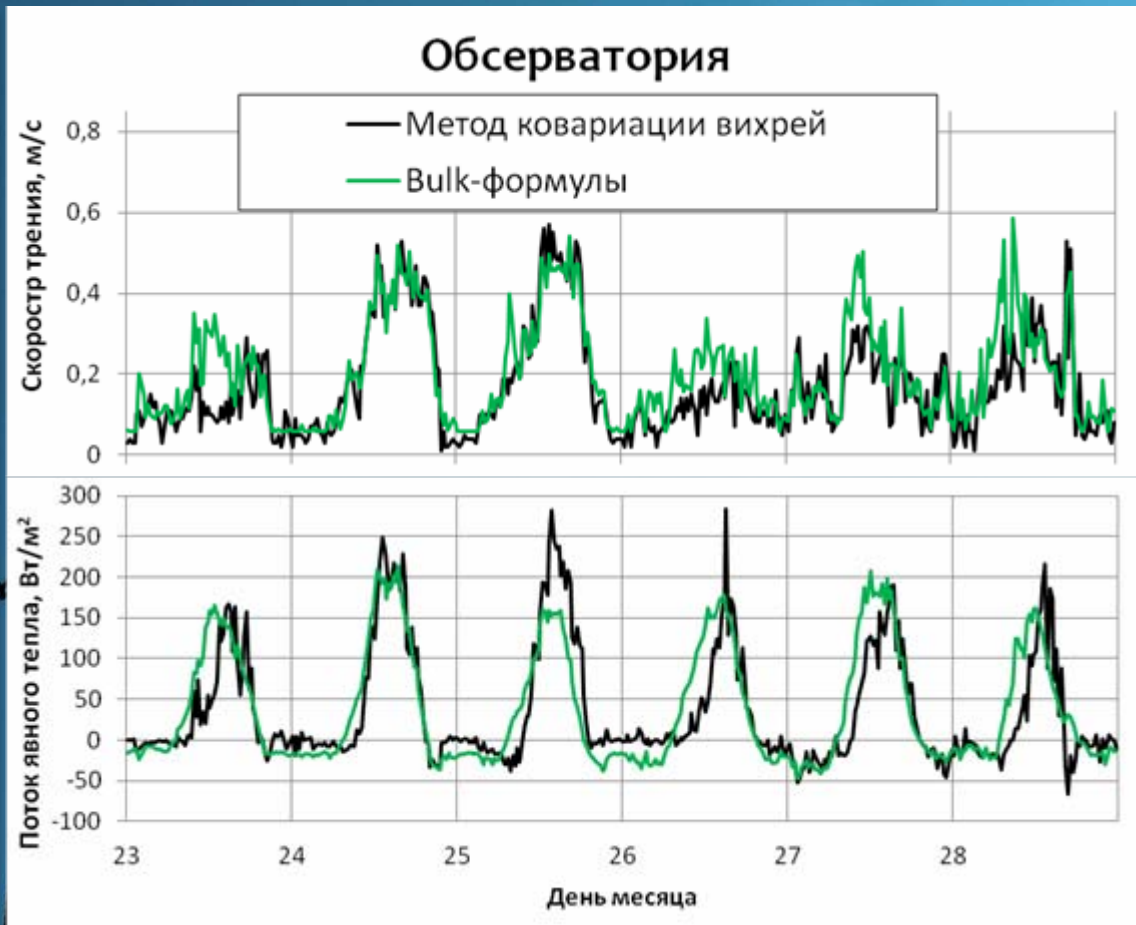
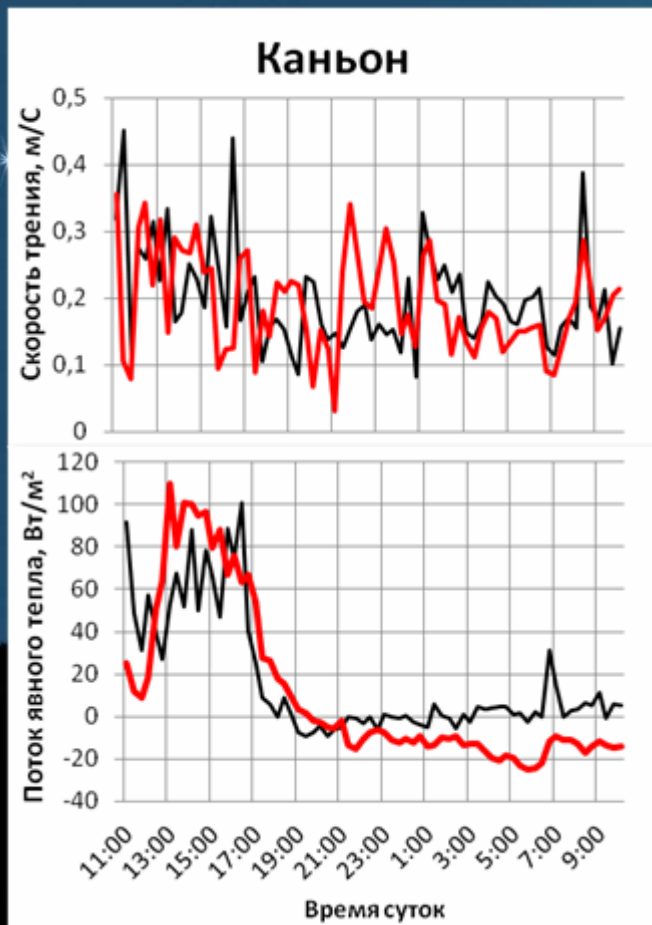
Эмпирические формулы (Martilli, 2002):

$$H_z^{wall} = \frac{c_c(a_c + b_c + \frac{|\vec{u}_z|}{d_c})}{C_p} (\theta_z^{wall} - \theta_z)$$

$$\vec{\tau}_z^{wall} = -\rho C_{drag} |\vec{u}_z^{ort}| \cdot \vec{u}_z^{ort}$$



ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН



ТУРБУЛЕНТНАЯ ДИФФУЗИЯ

Турбулентное замыкание:

$$K_{v,h}^m = l_{v,h}^2 \left[\left(\frac{du}{dz} \right)^2 - \frac{N^2}{Pr} \right] \cdot (1 - Ri)^{\frac{1}{2}}$$

$$K_{v,h}^h = \frac{K_{v,h}^m}{Pr}$$

Вертикальный масштаб смешения:

- ПС над однородной поверхностью:
 $l_v = \kappa z$
- ПС в каньоне (Lemonsu, 2008):
 $l_v = \min(\kappa z, f(H, W))$

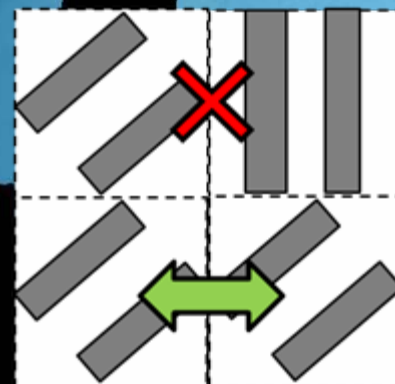
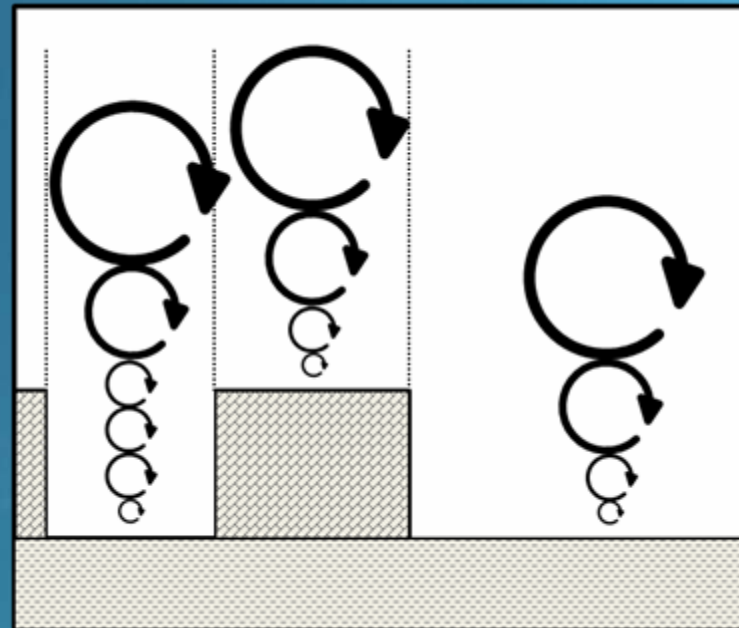
Горизонтальный масштаб смешения:

$$l_h = C_s \cdot \sqrt{\Delta x \cdot \Delta y}$$

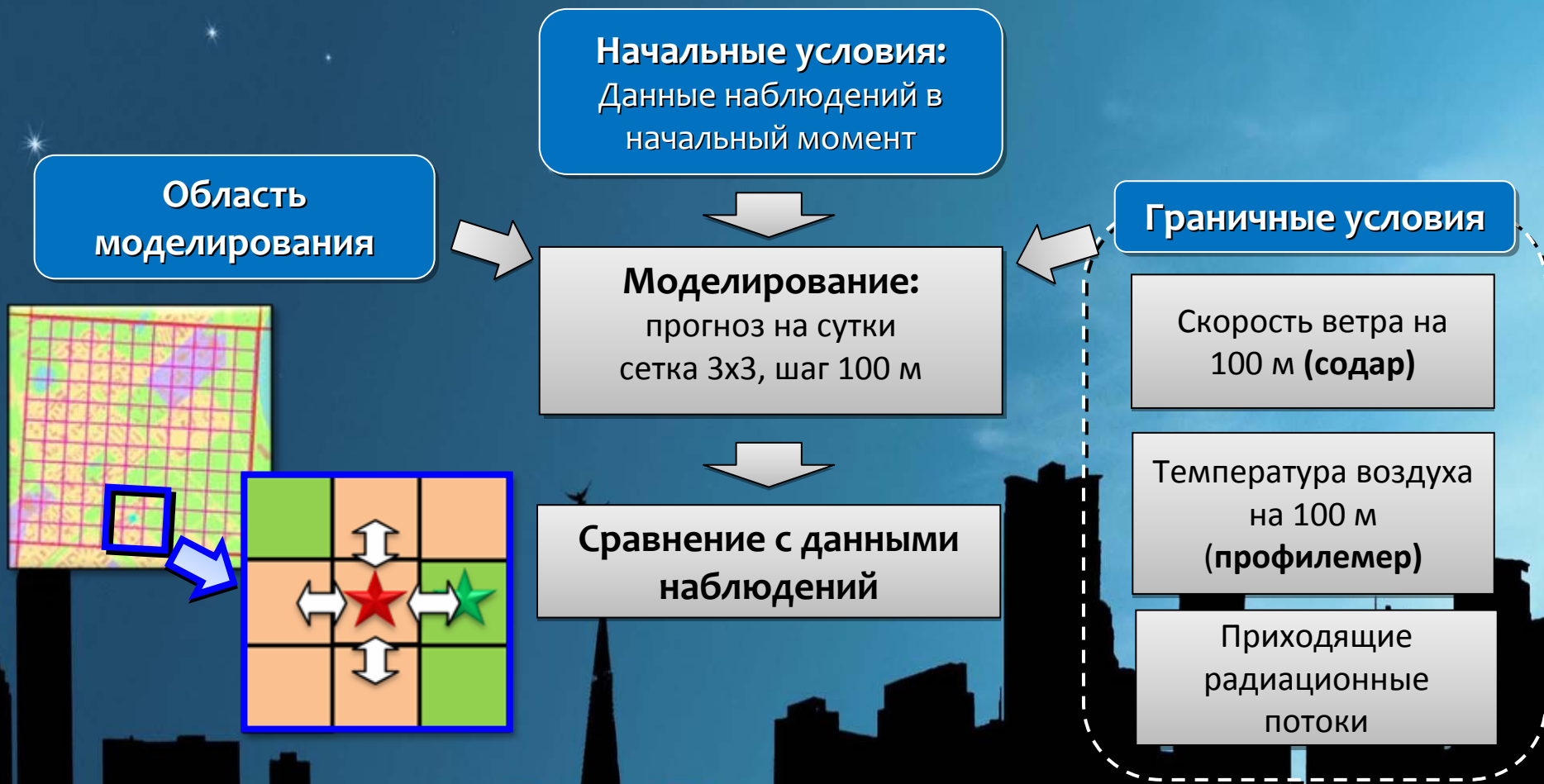
Проницаемость каньонов для диффузии:

$$K_x^{c,m,h} = K_h^{m,h} \cdot \cos(\varphi_c)$$

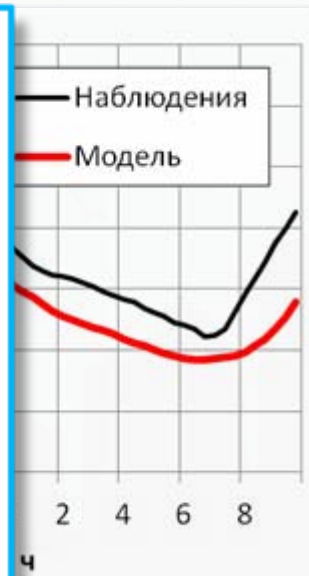
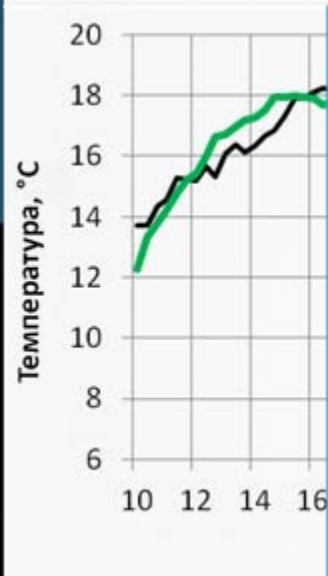
$$K_y^{c,m,h} = K_h^{m,h} \cdot \sin(\varphi_c)$$



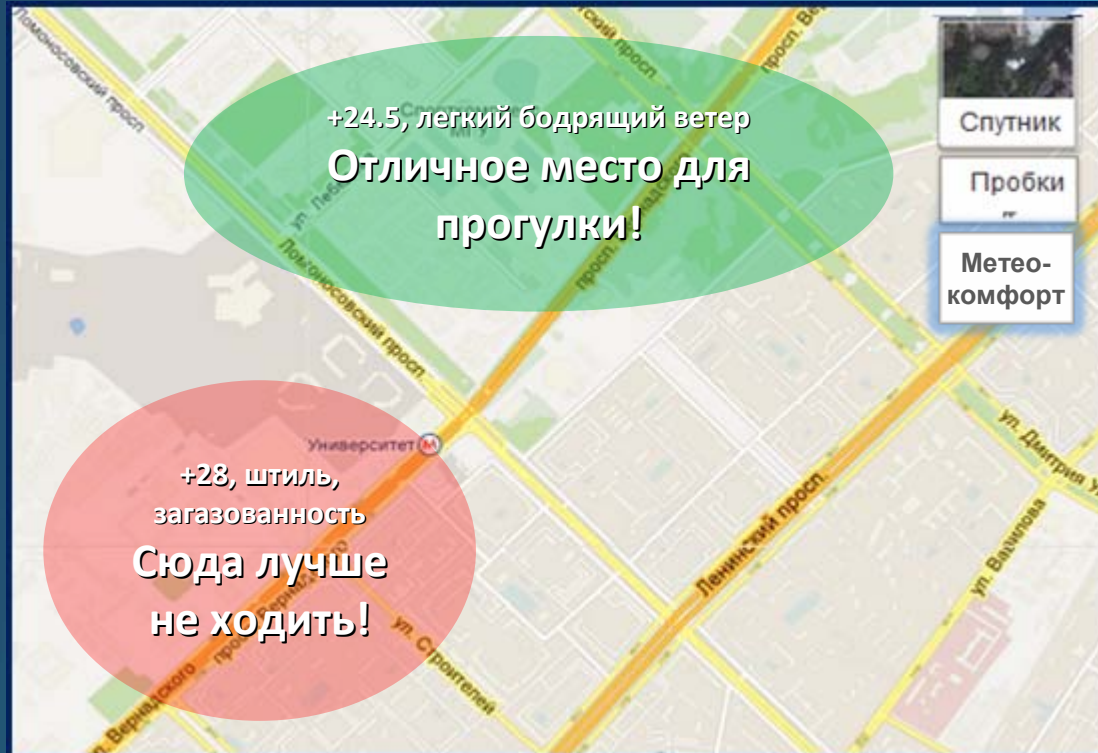
МОДЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ



РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ



ПЕРСПЕКТИВЫ РАБОТЫ



Улучшение прогноза погоды для города с высоким пространственным и временным разрешением

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы работы выражает глубокую благодарность:

- ✓ **Репиной И.А.** (ИФА РАН) за ценные консультации по вопросам атмосферной турбулентности;
- ✓ **Степаненко В. М.** (НИВЦ МГУ) за ценные консультации по вопросам численного моделирования;
- ✓ **Шиловцевой О.А., Горбаренко Е.В., Столяровой Е.Г. и Незваль Е.И.** (Обсерватория МГУ) за предоставление данные наблюдений;
- ✓ **Локощенко М. А.** (Обсерватория МГУ) за предоставление данных содара;
- ✓ **Скороходу А.И.** (ИФА РАН) за предоставление данных профилемера;
- ✓ **Блинову Денису** (Гидрометцентр), за предоставление прогнозов мезомасштабной модели COSMO;

ИТОГИ РАБОТЫ

- ✓ Обработаны **данные эксперимента** UrbEx
- ✓ Изучена возможность расчета турбулентных потоков городском каньоне с помощью bulk-формул
- ✓ Разработана **численная модель** городского приземного слоя, учитывающая влияние застройки и трехмерную диффузию
- ✓ Проведена **успешное тестирование** разработанной модели