

ВЛИЯНИЕ УРБАНИЗАЦИИ НА АТМОСФЕРУ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА: ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С РАЗЛИЧНЫМИ ПАРАМЕТРИЗАЦИЯМИ ГОРОДСКОГО ПОЛОГА

Ладохина Е. М.¹, Рубинштейн К. Г.²;

Санкт-Петербург, katur.job@mail.ru,

¹ ООО Микростеп-МИС, ФГБУ «Северо-Западное УГМС»

² Гидрометцентр РФ, ИБРАЭ РАН

секция «Физика пограничных слоев»

ПОГОДНЫЕ УРБАНИСТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ

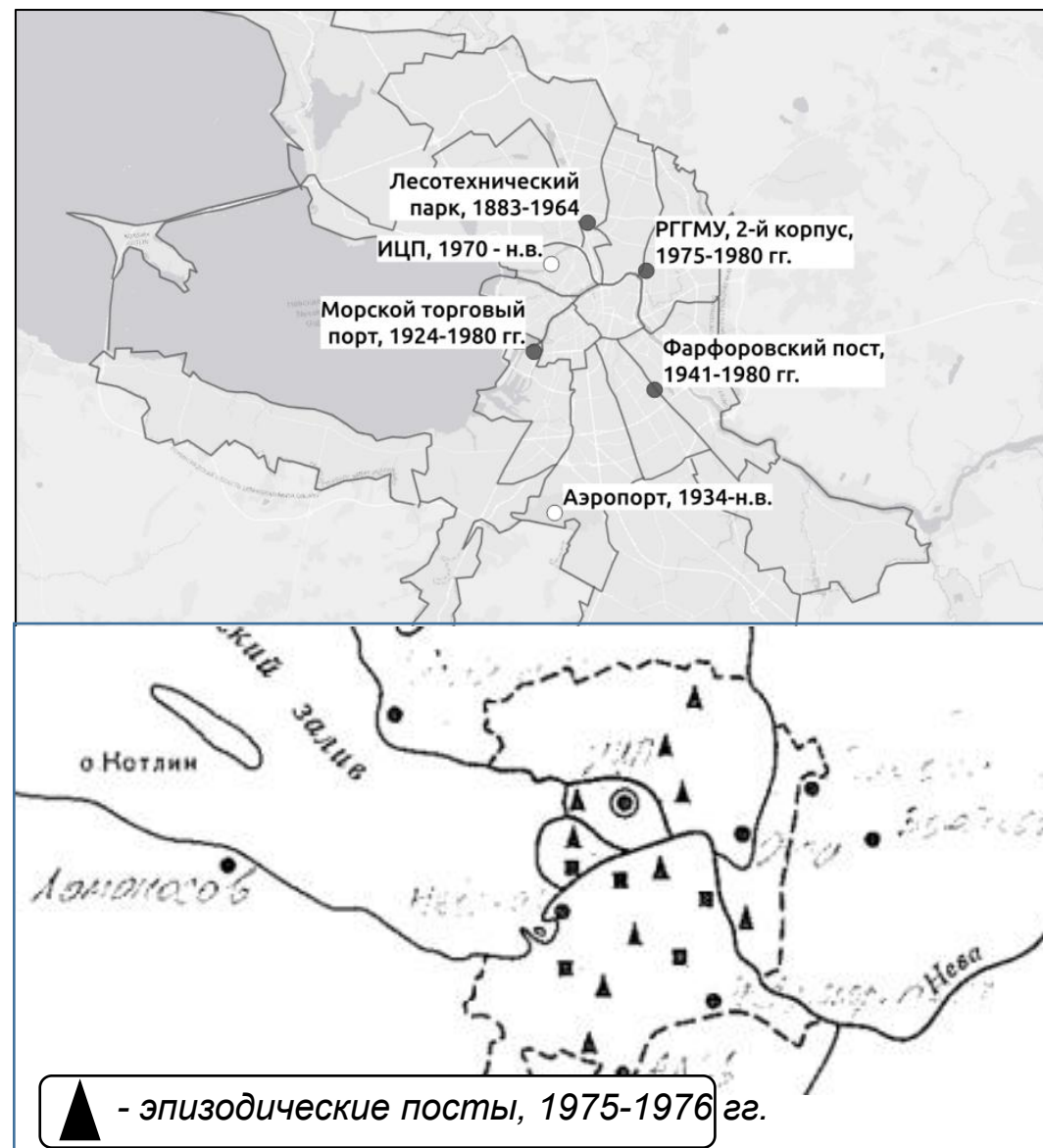
Урбанизированные территории оказывают существенное влияние на состояние городской атмосферы

Благодаря длительной истории метеорологических наблюдений в Санкт-Петербурге, на сегодняшний день существует подробное описание погодных урбанистических эффектов, среди которых:

- городская аномалия температуры (остров тепла и приподнятый слой холода)
- городская аномалия влажности
- изменение ветрового режима (снижение скорости ветра)

(Швер, 1982) (Покровская, 1967)

(Мелешко, 2010) (Матвеев, 2013)



КОНФИГУРАЦИЯ WRF-ARW ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С МОДЕЛЯМИ ГОРОДСКОГО ПОЛОГА

Мезомасштабная модель WRF-ARW 4.3

- Начальные и граничные условия: GFS (0.25°x0.25°)
- Для достижения высокого пространственного разрешения в районе Санкт-Петербурга создана область моделирования с двумя вложенными сетками.
- Характеристики сеток:
 - 9 км - ЕТР
 - 3 км - Ленинградская область
 - 0,6 км - Санкт-Петербург и окрестности
- Типы урбанизированных поверхностей : **10 типов** урбанизированной поверхности, предоставленных на портале WUDAPT в виде карты с шагом сетки **100 м**

Количество уровней по вертикали: 50

Численные эксперименты	
Код	Ключевой компонент
Noah LSM (контрольный)	модель деятельного слоя суши Noah с параметрами урбанизированной поверхности, заданными по умолчанию
SLUCM	одноуровневая модель городского полога с дополнительными типами урбанизированной поверхности
BER	параметризация эффектов зданий с дополнительными типами урбанизированной поверхности
BER_BEM	BER объединенная с моделью энергопотребления зданий BEM с дополнительными типами урбанизированной поверхности

ИНФОРМАЦИЯ О СВОЙСТВАХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

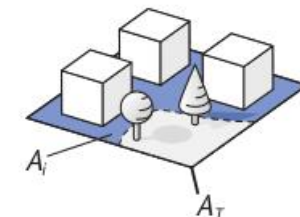
На основе типовых геометрических параметров и характеристик городской поверхности (Stewart and Oke, 2012)

1. Распределение типов урбанизированной поверхности

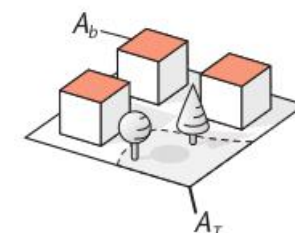
2. Доля урбанизированной территории

3. Параметры городской застройки

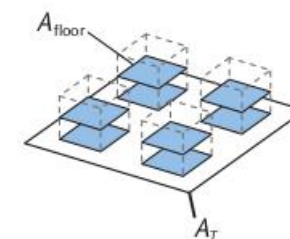
- a) плановая площадь застройки (SLUCM, BEP, BEP_BEM)
- b) средняя высота зданий (SLUCM)
- c) стандартное отклонение высоты зданий (SLUCM)
- d) средняя высота здания, взвешенная по плановой площади застройки (SLUCM, BEP, BEP_BEM)
- e) отношение площади зданий к плановой площади застройки (SLUCM, BEP, BEP_BEM)
- f) индекс фронтальной площади застройки (SLUCM)
- g) распределение высот зданий по высотам в слое 0-75 м (BEP, BEP_BEM)



2)



3a)



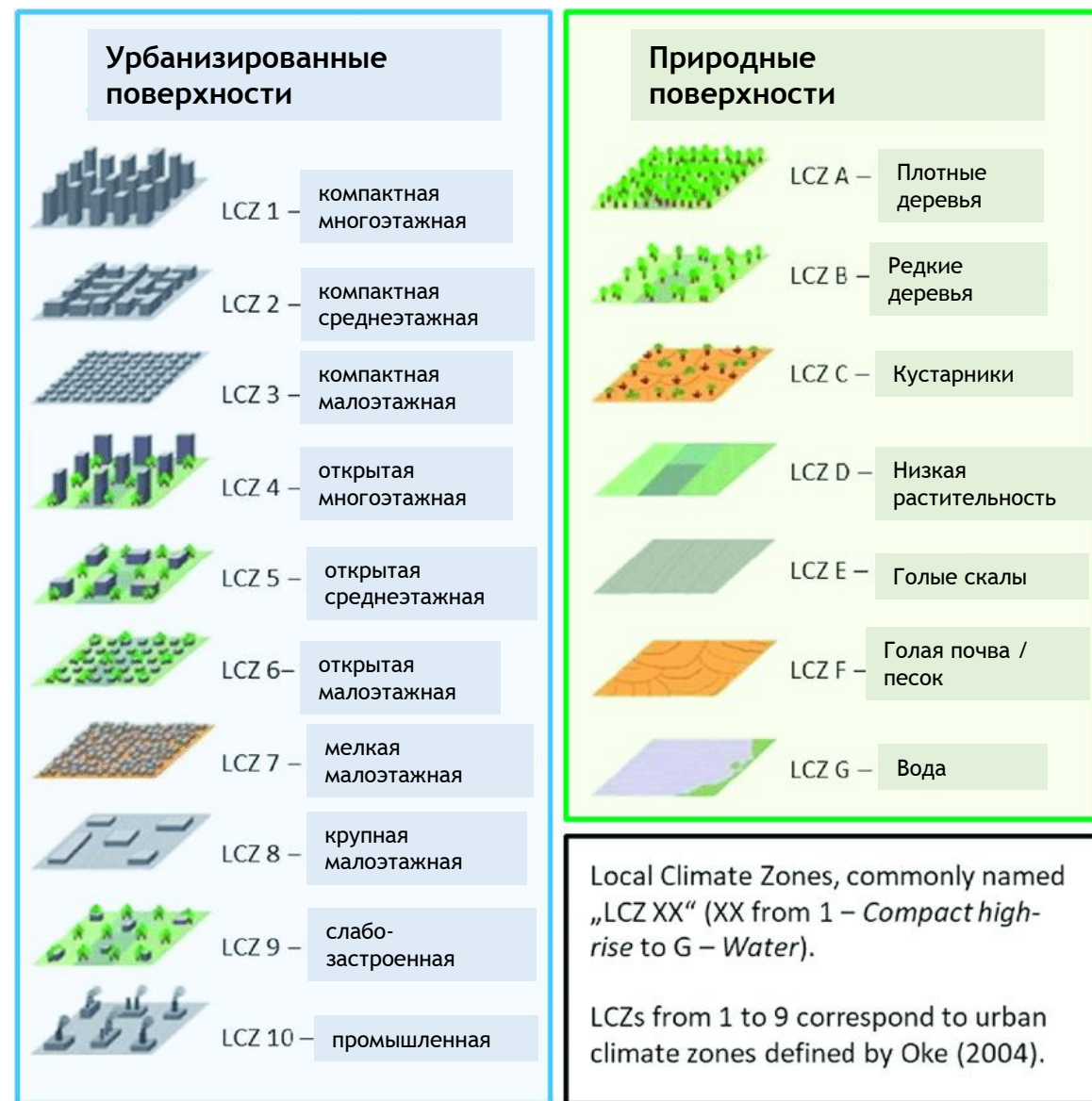
3g)

КОНЦЕПЦИЯ ЛОКАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

[Stewart and Oke, 2012]

ЛОКАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗОНЫ - ЛКЗ

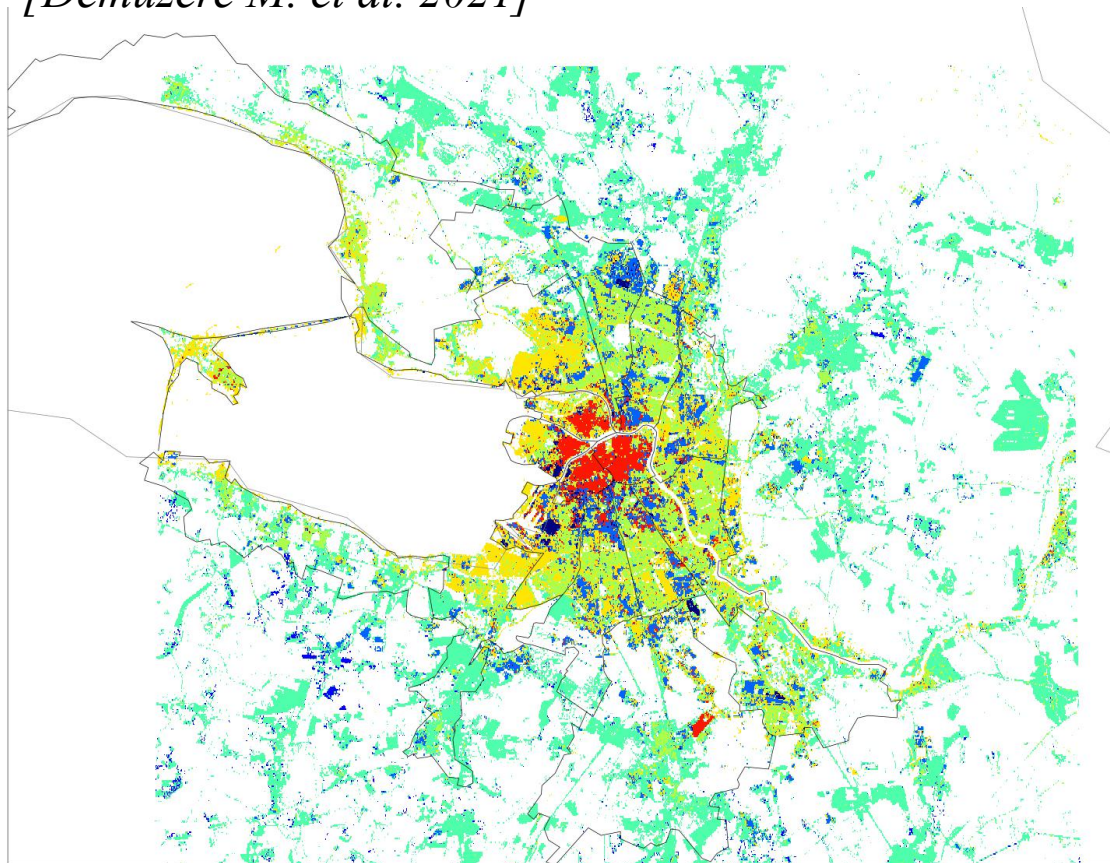
Области с однородным покрытием, структурой, материалами, которые простираются от сотен метров до нескольких километров в горизонтальном масштабе



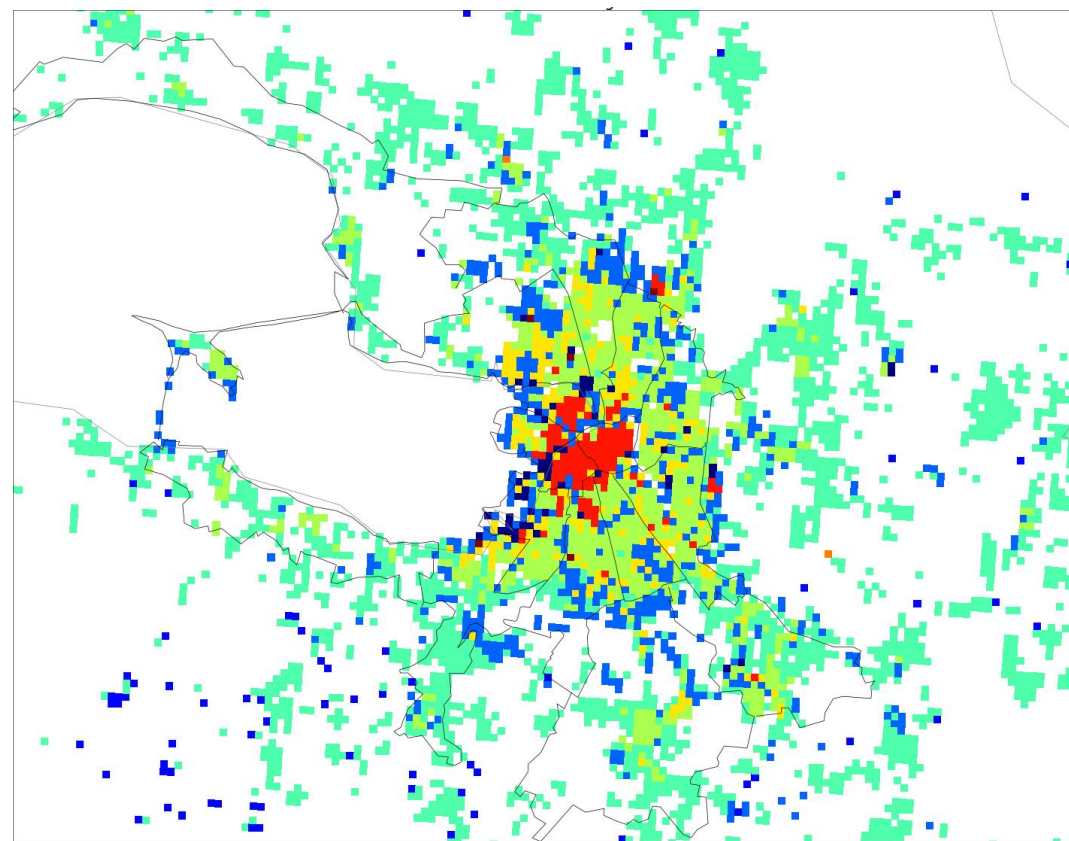
ОТ КАРТЫ ЛОКАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН К СЕТКЕ МОДЕЛИ

№ ЛКЗ

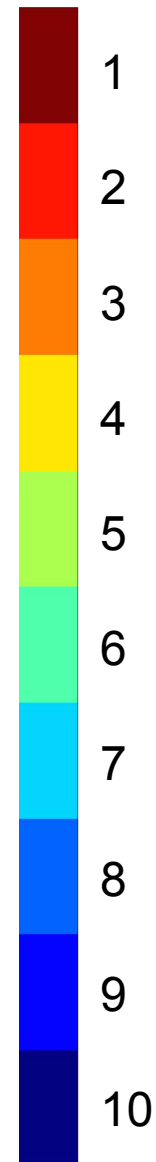
[Demuzere M. et al. 2021]



размер ячейки 100×100м

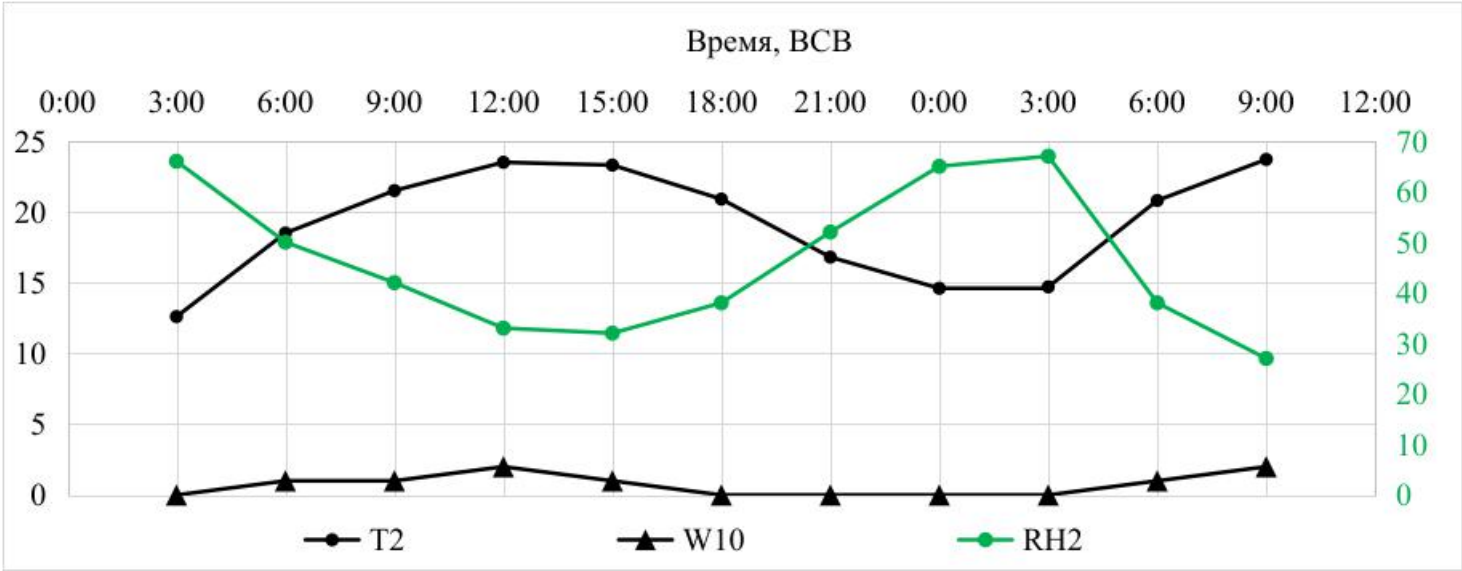


размер ячейки 600×600м



ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ГОРОДСКОГО ПОЛОГА ДЛЯ СЛУЧАЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОТ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

03.06.2021



Краткое описание погоды

- штиль или тихий ветер в пределах 1 м/с
- отсутствие облачности
- отсутствие осадков в течение недели

ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»

ФИЛИАЛЫ:

- КАРЕЛИЯ
- ПСКОВ
- НОВГОРОД
- КАЛИНИНГРАД

Версия для слабовидящих

ГЛАВНАЯ НОВОСТИ КЛИМАТ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПОГОДА СЕЙЧАС ПРОГНОЗ ПОГОДЫ СТАТЬИ О НАС ГОСТЕВАЯ КНИГА

СЕЙЧАС В ПЕТЕРБУРГЕ

-0.6 °C

Ветер: **западный**
Скорость ветра: **1-3 м/с**
Давление: **751.9 мм рт.ст.**
Влажность: **68%**

по данным м/с Санкт-Петербург за 02.11.2024 11 МСК

01.09.2021

Лето 2021 года в Санкт-Петербурге стало самым жарким за весь ряд инструментальных наблюдений

Подведя окончательные итоги августа (средняя температура осталась неизменной +16,9 гр.), можно уже точно подтвердить сказанное на пресс-конференции в Интерфаксе. Лето 2021 года в Санкт-Петербурге стало самым жарким за весь ряд инструментальных наблюдений за погодой: средняя температура лета составила 20,5 гр., превысив прошлый рекорд лета 1972 года (+20,1 гр.) и температуру лета 2010 года (+19,8 гр.).

Средняя десятидневная температура воздуха в Санкт-Петербурге летом

Месяц	Декада	1972 год	2010 год	2021 год
июнь	I	15.8	15.7	15.8
	II	18.5	18.7	18.5
	III	24.8	24.5	24.5
июль	I	24.5	24.5	24.5
	II	25.2	25.2	25.2
	III	25.2	25.2	25.2
август	I	18.5	18.5	18.5
	II	17.9	17.9	17.9
	III	14.4	14.4	14.4

Карта фактической погоды

Синоптическая карта погоды

→ Все карты

Стоит отметить, что прошедшее петербургское лето стало самым солнечным за последние 20 лет. Общее количество часов составило 880, что выше предыдущего рекорда 2002 года (860 часов).

Количество летних осадков оказалось немного ниже нормы и составило 205,4 мм (норма – 218 мм). **Июнь** и **июль** были очень сухими. В августе выпало 134,5 мм осадков (166 % от нормы).

ПРИЗЕМНЫЙ ГОРОДСКОЙ ОСТРОВ ТЕПЛА

1881-1960 гг.

Станции ИЦП и Лесной

0,6°С среднегодовая интенсивность городского острова
тепла

(Покровская, 1967)

1881-1960 гг.

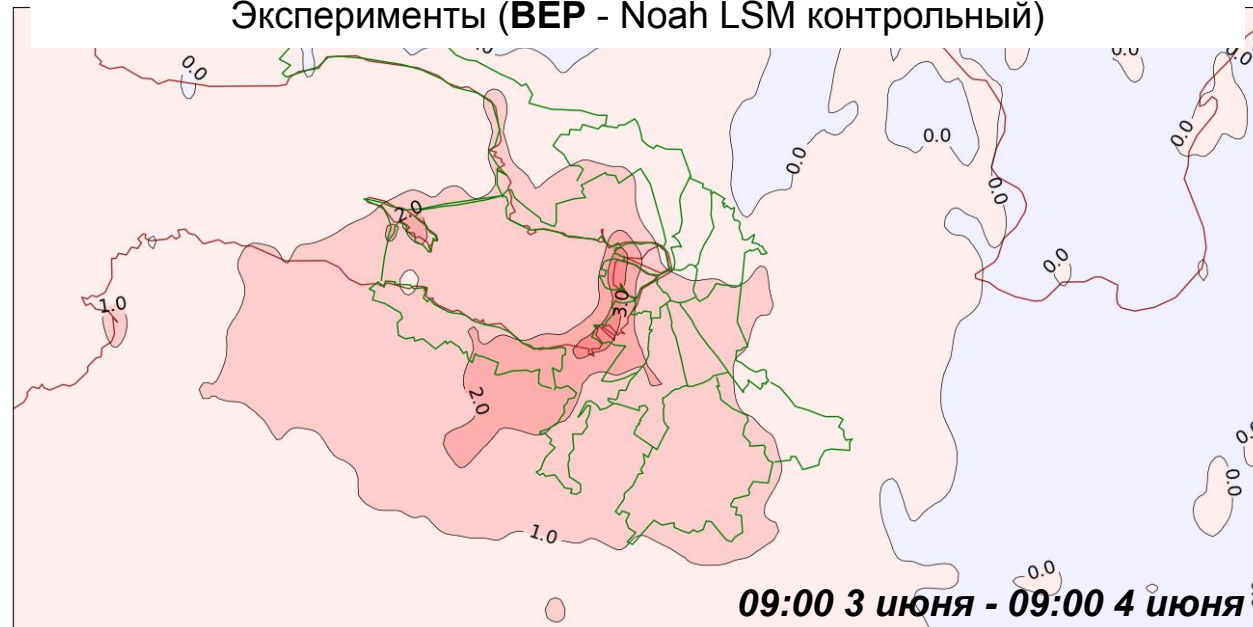
Станции (ИЦП) и четыре пригородных (Воейково,
Рощино, Лисий Нос, Ломоносов)

1°С среднегодовая интенсивность городского острова
тепла в сравнении с восточными и северными
пригородами

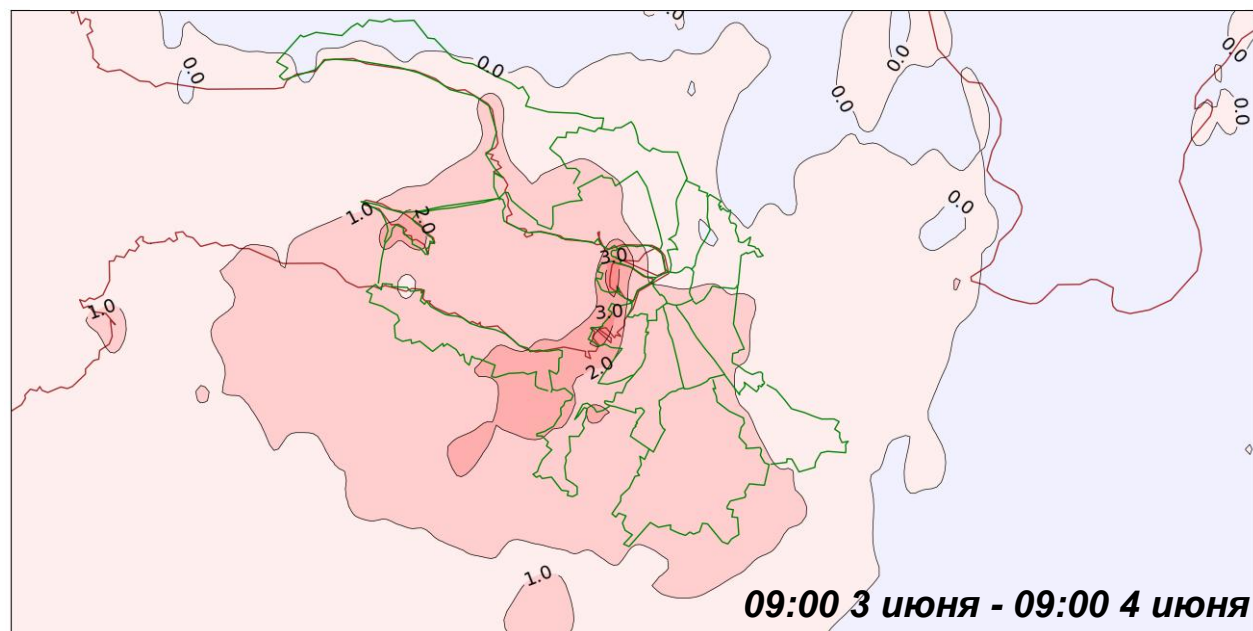
0,2..0,5°С среднегодовая интенсивность городского
острова тепла в сравнении с районами вблизи Финского
залива

(Швер, 1982)

Эксперименты (BER - Noah LSM контрольный)



Эксперименты (BER_BEM - Noah LSM контрольный)



ПРИЗЕМНЫЙ ГОРОДСКОЙ ОСТРОВ ТЕПЛА

1881-1960 гг.

Станции ИЦП и Лесной

2,0°С разница среднемесячных температур в ночные часы

(Покровская, 1967)

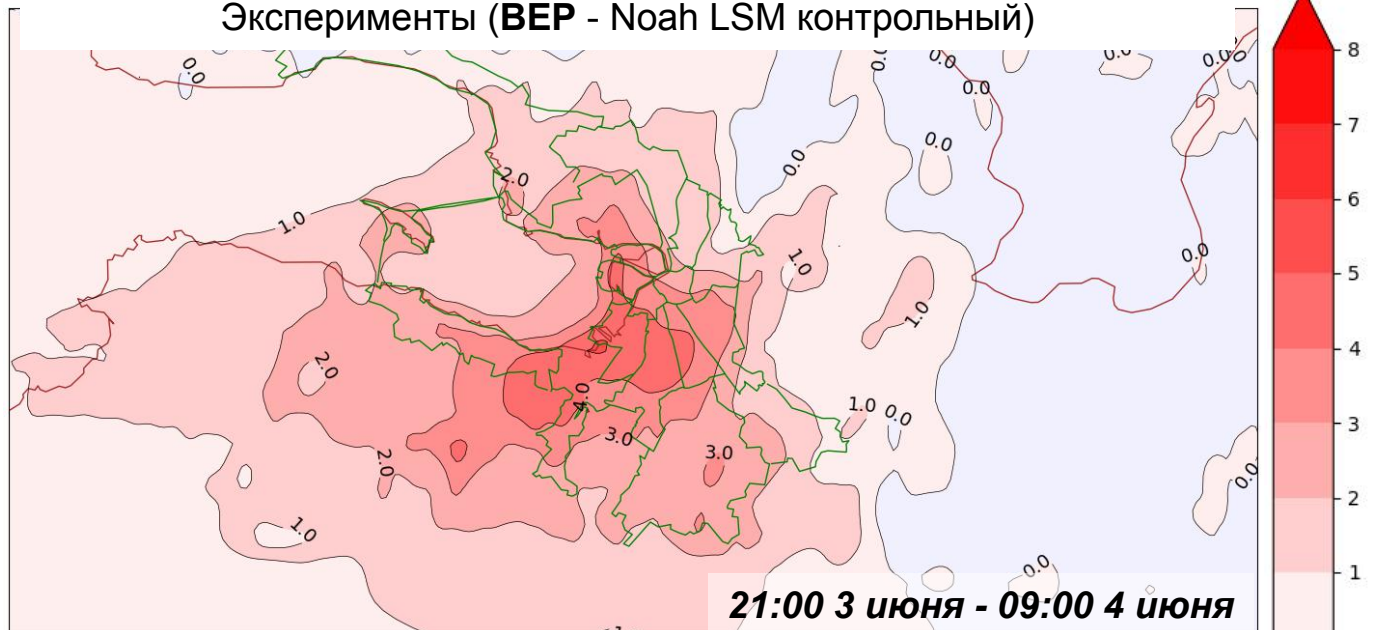
1881-1960 гг.

Станции ИЦП и Воейково

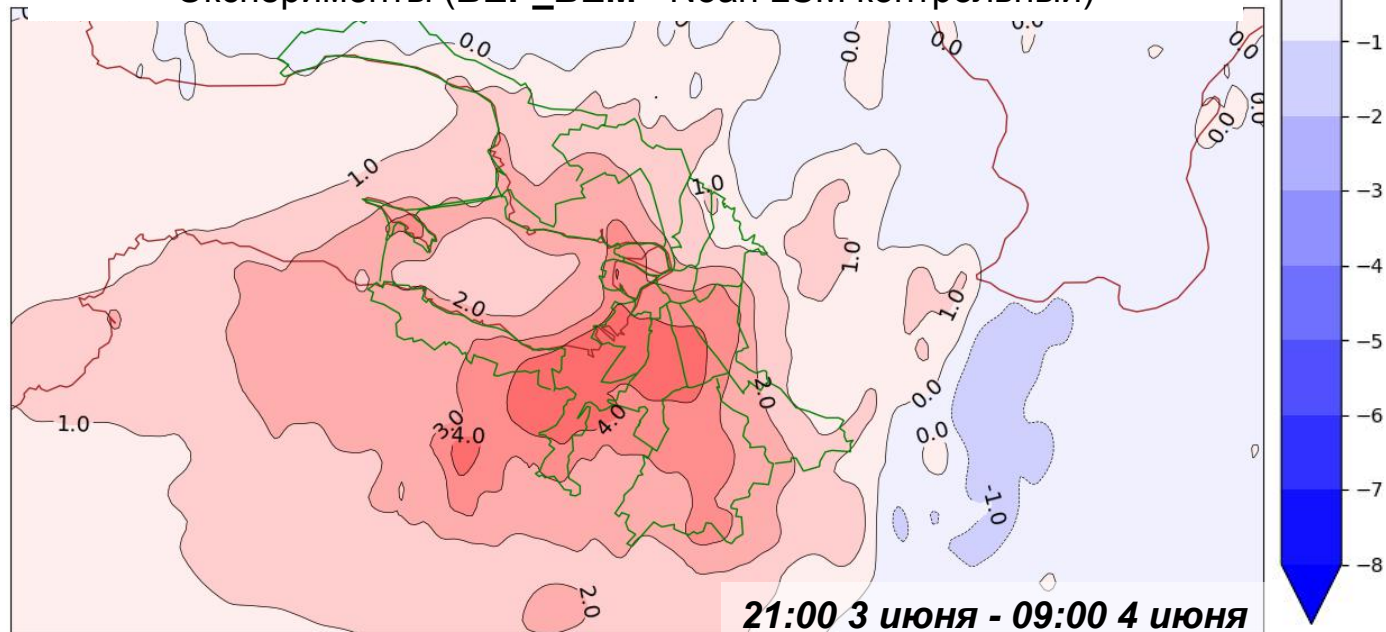
1,1°С разница между средними минимальными (ночными) температурами

(Швер, 1982)

Эксперименты (BER - Noah LSM контрольный)



Эксперименты (BER_BEM - Noah LSM контрольный)



ПРИПОДНЯТЫЙ СЛОЙ ХОЛОДА

1968-1979 гг.

Сравнение данных телебашни Ленинградского телецентра и данными стандартного радиозондирования на аэрологической станции **Воейково**

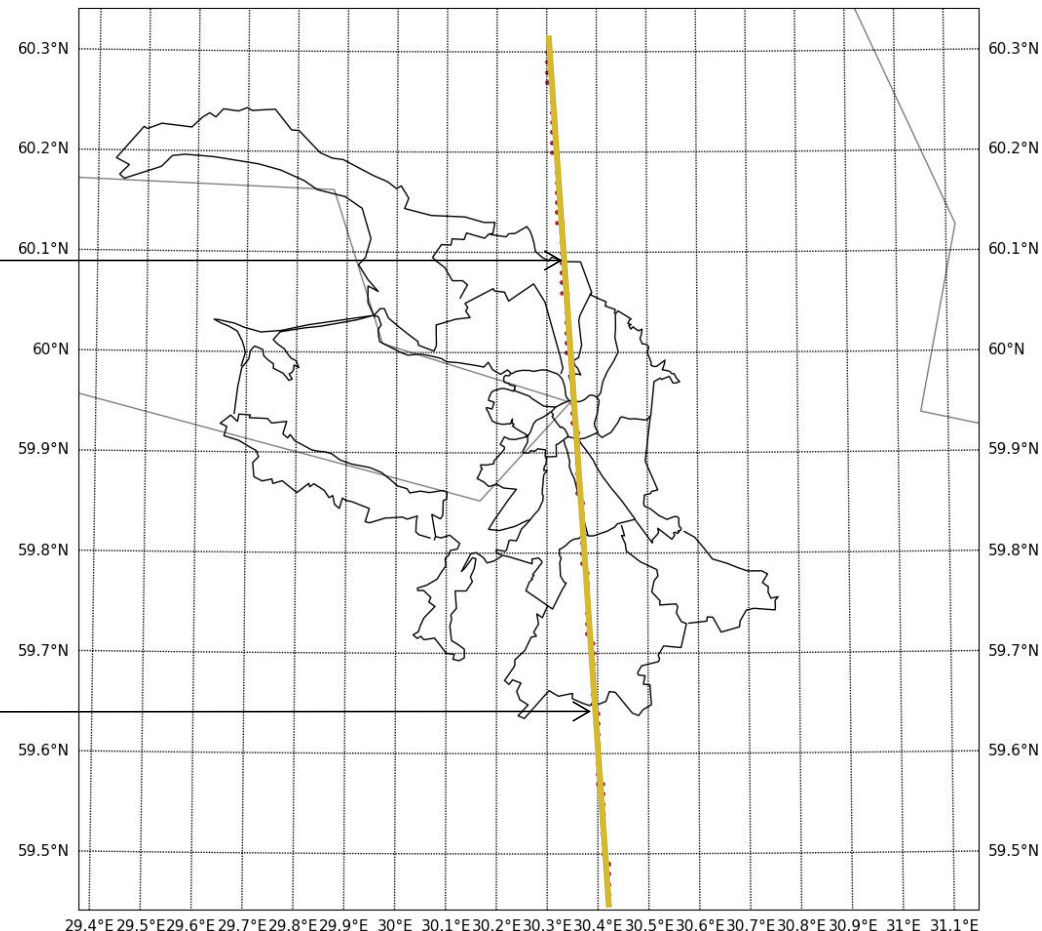
Было проанализировано **72 вертикальных профиля** температуры, полученных в **летние ночные строки** при различной стратификации атмосферы

- **уменьшение температурных контрастов** между городом и пригородом с высотой, причем на уровне около **200 м** эти различия практически исчезали
- **более интенсивное охлаждение воздуха** в средней части пограничного слоя над городом по сравнению с пригородом, известное как **кросс-овер эффект**
 - порядка **-1,3..-1,4 °C** на высоте 269 м при любом типе стратификации

(Швер, 1982)

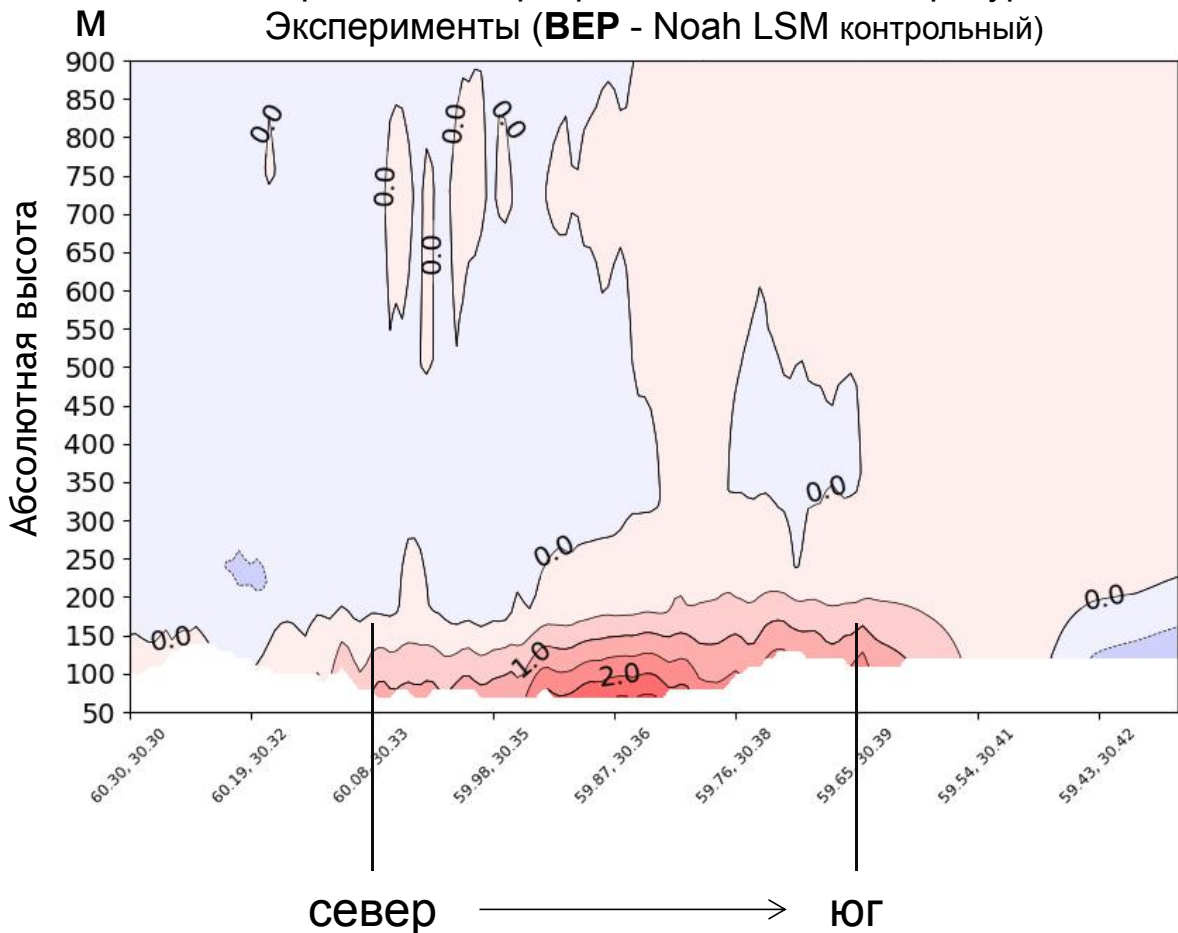
граница города
(север)

граница города
(юг)

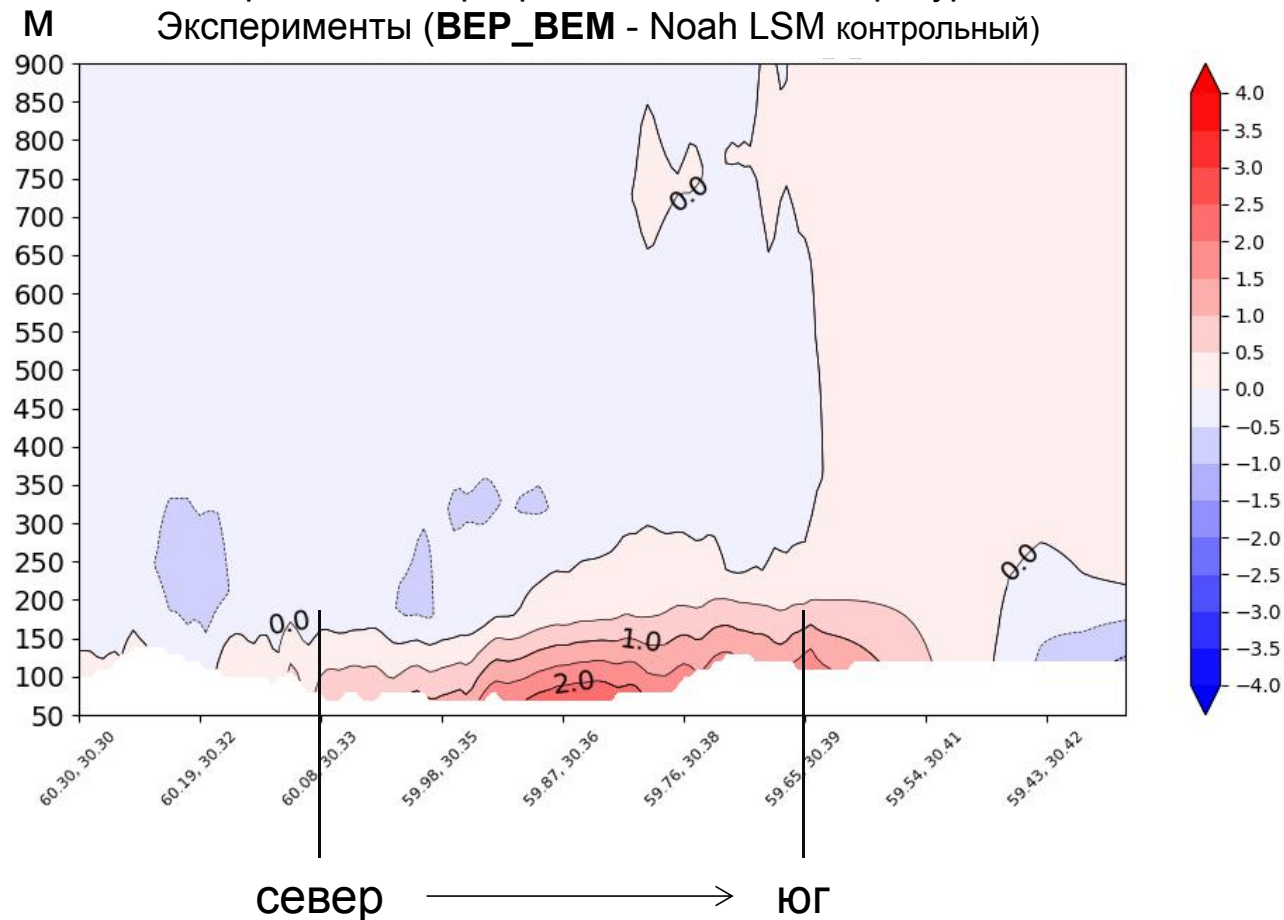


ПРИПОДНЯТЫЙ СЛОЙ ХОЛОДА (СУТКИ) 09:00 3 ИЮНЯ - 09:00 4 ИЮНЯ

Вертикальный разрез аномалии температуры
Эксперименты (БЕР - Noah LSM контрольный)



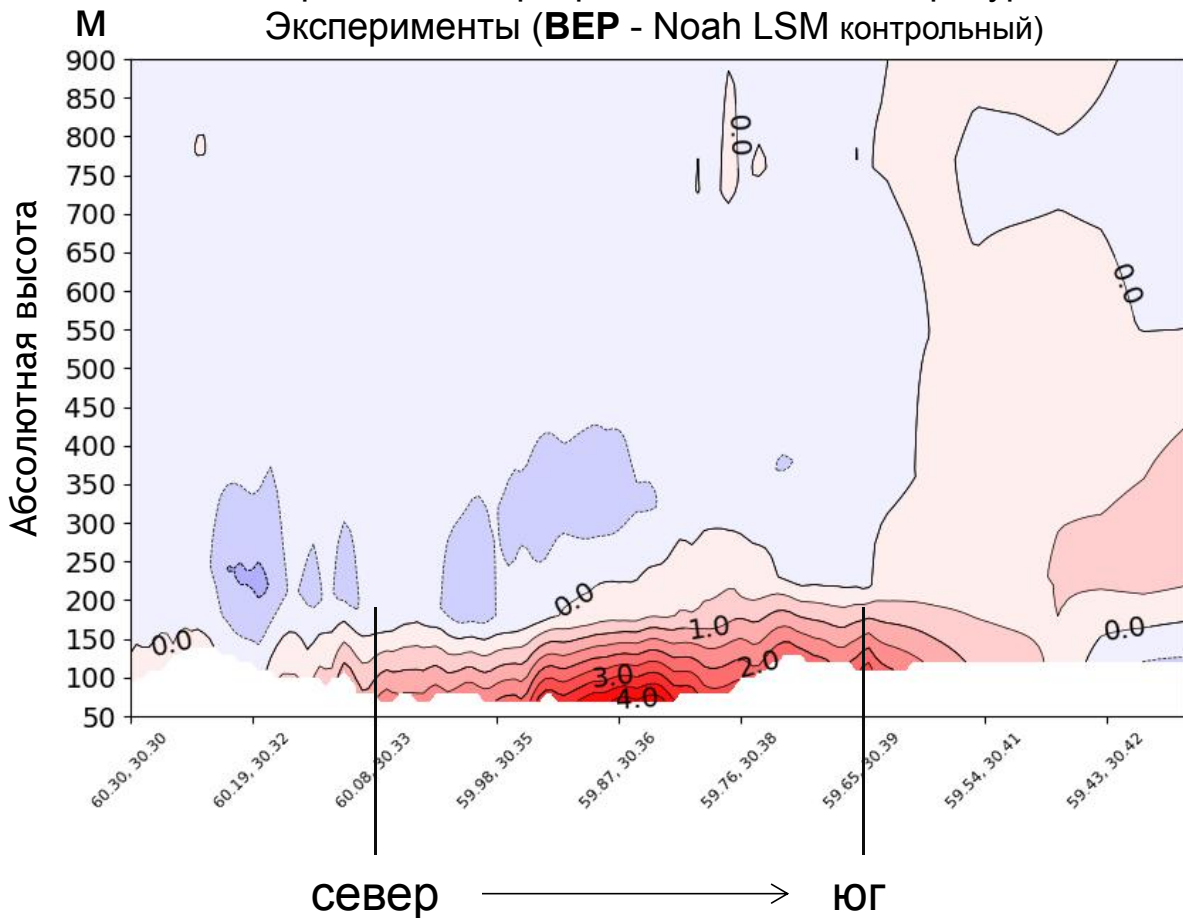
Вертикальный разрез аномалии температуры
Эксперименты (БЕР_ВЕМ - Noah LSM контрольный)



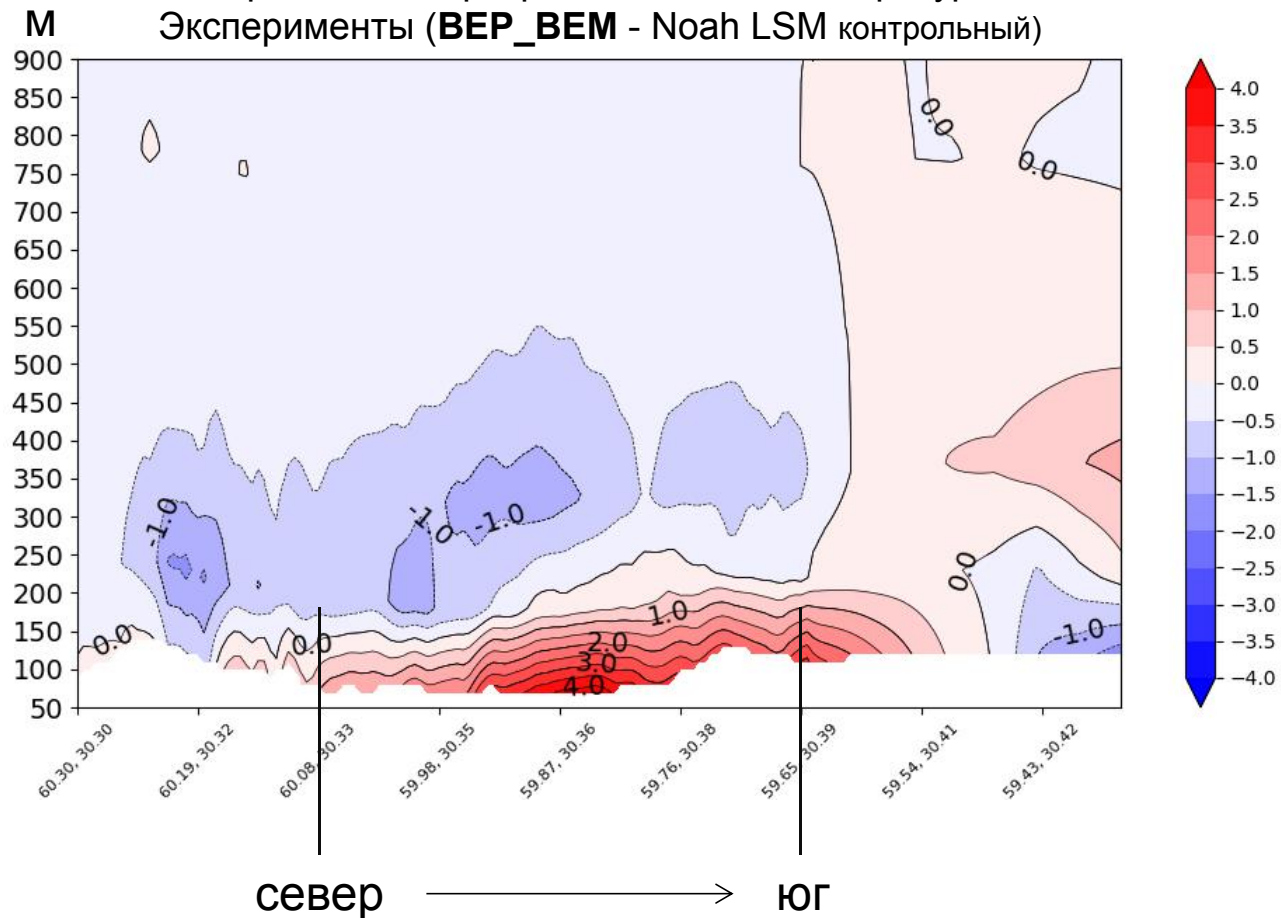
ПРИПОДНЯТЫЙ СЛОЙ ХОЛОДА (НОЧЬ)

21:00 3 ИЮНЯ - 09:00 4 ИЮНЯ

Вертикальный разрез аномалии температуры
Эксперименты (BEP - Noah LSM контрольный)



Вертикальный разрез аномалии температуры
Эксперименты (BEP_BEM - Noah LSM контрольный)



ПРОСТРАНСТВЕННАЯ АНОМАЛИЯ УДЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ У ЗЕМЛИ

Москва

Данные: интерферометр IASI, MetOp, 2015-2017 гг.

В теплый период года

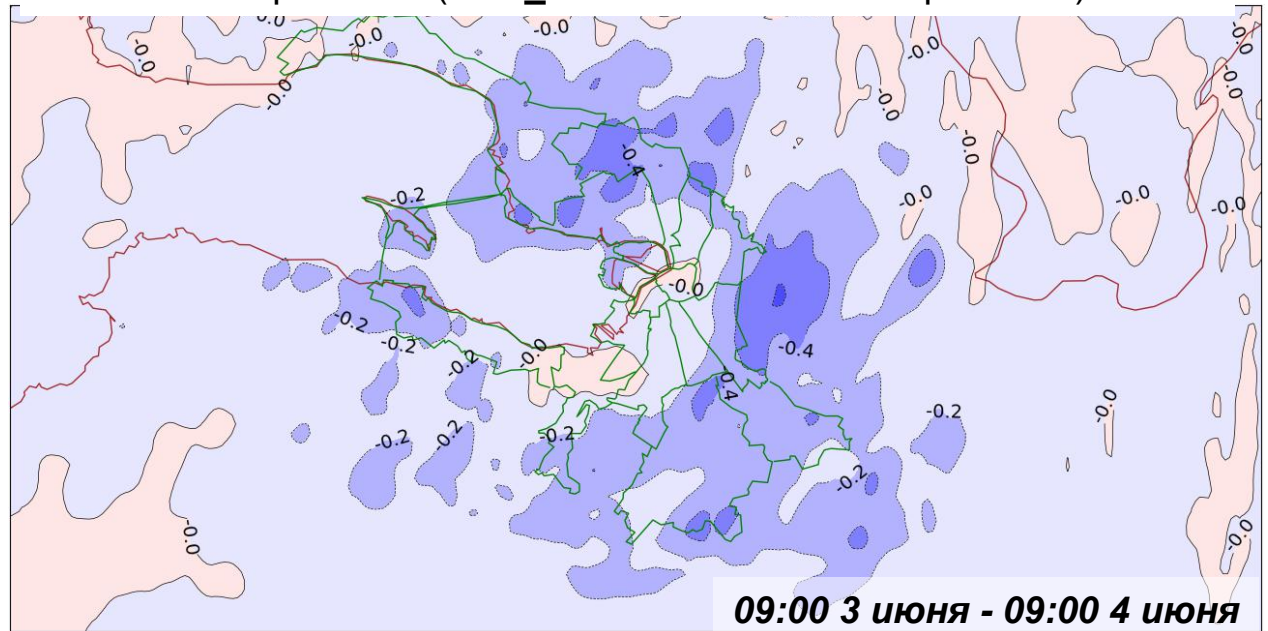
- в предполуденные часы формировался остров сухости с отрицательной аномалией влажности около **-0,4 г/кг**, распространяющийся от поверхности земли до высоты 1000 м
- в вечерние часы на высотах 1000-3000 м образовывался остров влажности с положительной аномалией порядка **0,3 г/кг**

(Алексеева Л. И. и др., 2019)

Эксперименты (BEP - Noah LSM контрольный)



Эксперименты (BEP_BEM - Noah LSM контрольный)



ПРОСТРАНСТВЕННАЯ АНОМАЛИЯ УДЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ У ЗЕМЛИ

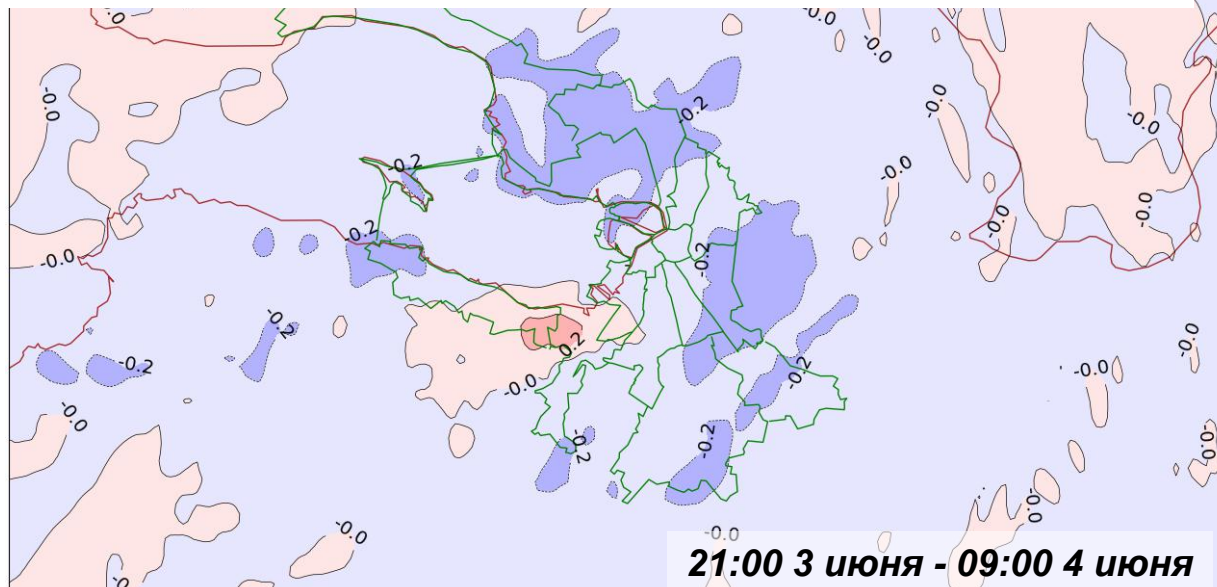
1975-1980 гг.

Станции ИЦП, Белогорка, Сосново

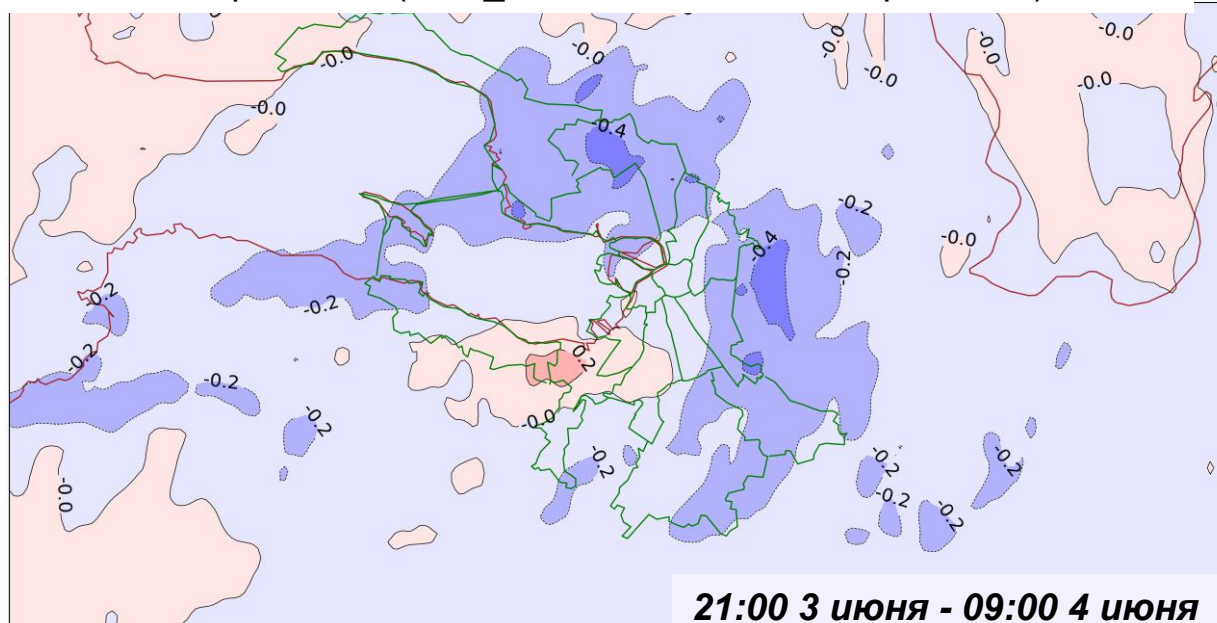
В летние ночи содержание водяного пара в городе может преобладать над окрестностями в условиях инверсионного распределения температуры по высоте, ослабленных скорости ветра и турбулентного обмена

(Матвеев, 2013)

Эксперименты (BEP - Noah LSM контрольный)



Эксперименты (BEP_BEM - Noah LSM контрольный)



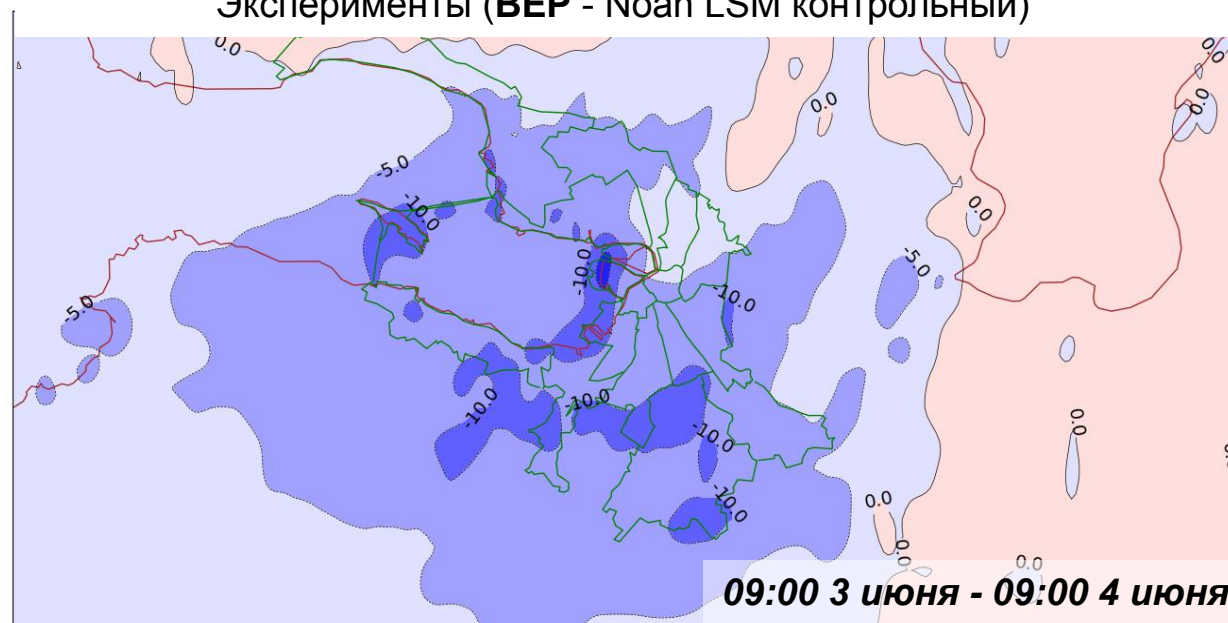
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ АНОМАЛИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ У ЗЕМЛИ

По данным исследований (Покровская, 1967; Швер, 1982; Матвеев, 2013) значения разности относительной влажности между городом и окрестностями **отрицательны в течение суток**

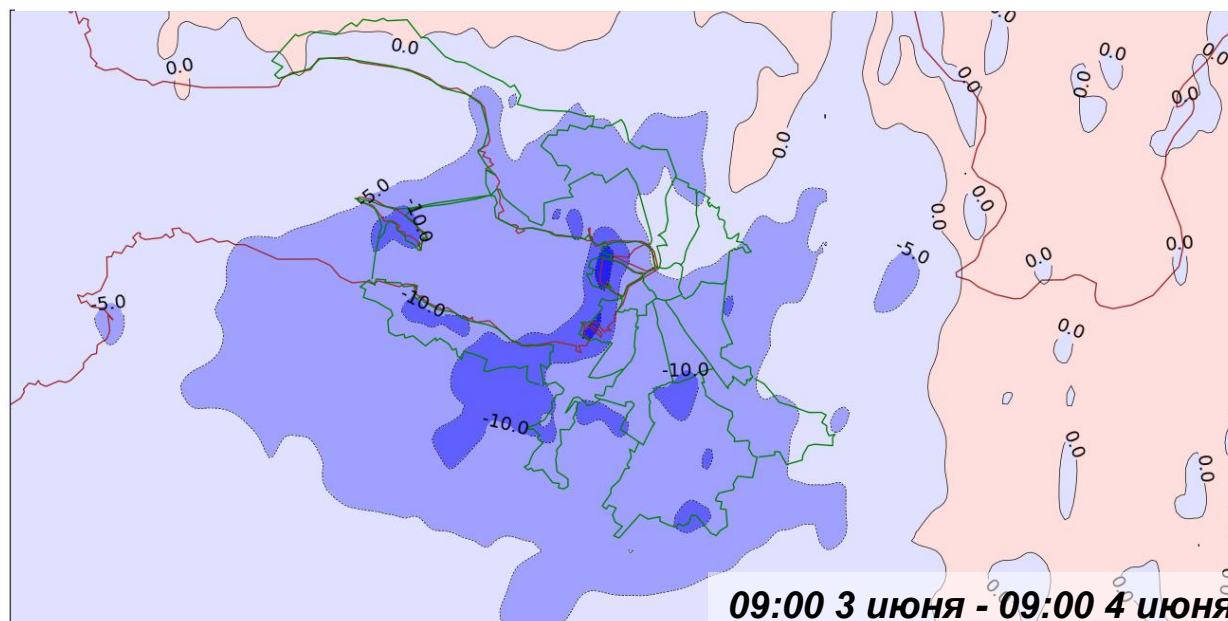
По данным микроклиматических съемок 1975-1976 гг., в тихую, безоблачную погоду значения относительной влажности в центре города оставались на **15..20% ниже**, чем в пригородах в течение всего дня

Швер, 1982

Эксперименты (BEP - Noah LSM контрольный)



Эксперименты (BEP_BEM - Noah LSM контрольный)



ПРОСТРАНСТВЕННАЯ АНОМАЛИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ У ЗЕМЛИ

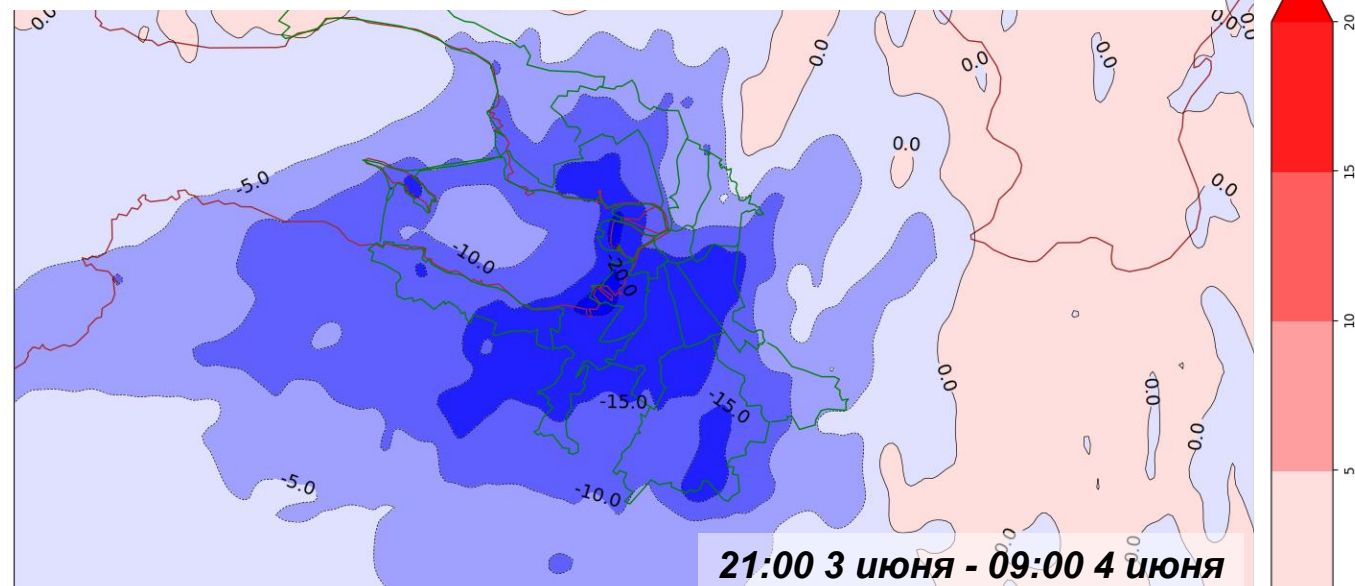
1881-1960 гг.

Станции ИЦП, Лесной, Воейково

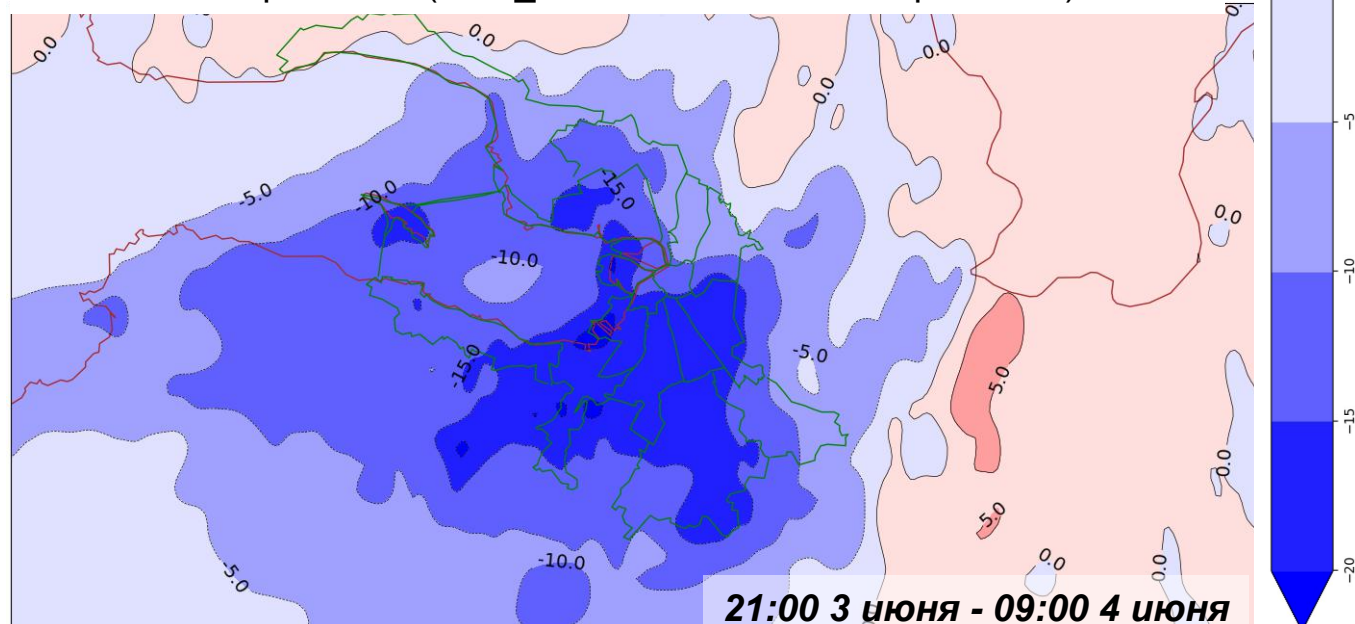
Разности относительной влажности между городом и окрестностями наиболее значительны в вечерние часы и могут достигать **-10..-15%**, а в отдельные летние вечера — до **-20%** и более.

(Покровская, 1967)

Эксперименты (BEP - Noah LSM контрольный)



Эксперименты (BEP_BEM - Noah LSM контрольный)



ПРОСТРАНСТВЕННАЯ АНОМАЛИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА

Количественные показатели ослабления скорости ветра в городе существенно зависят от стратификации атмосферы и увеличиваются с ростом устойчивости

1936-1963 гг.

Станции ИЦП, Лесной, Воейково

скорость ветра в городе в среднем на **1..2 м/с меньше**, чем в окрестностях

(Покровская, 1967)

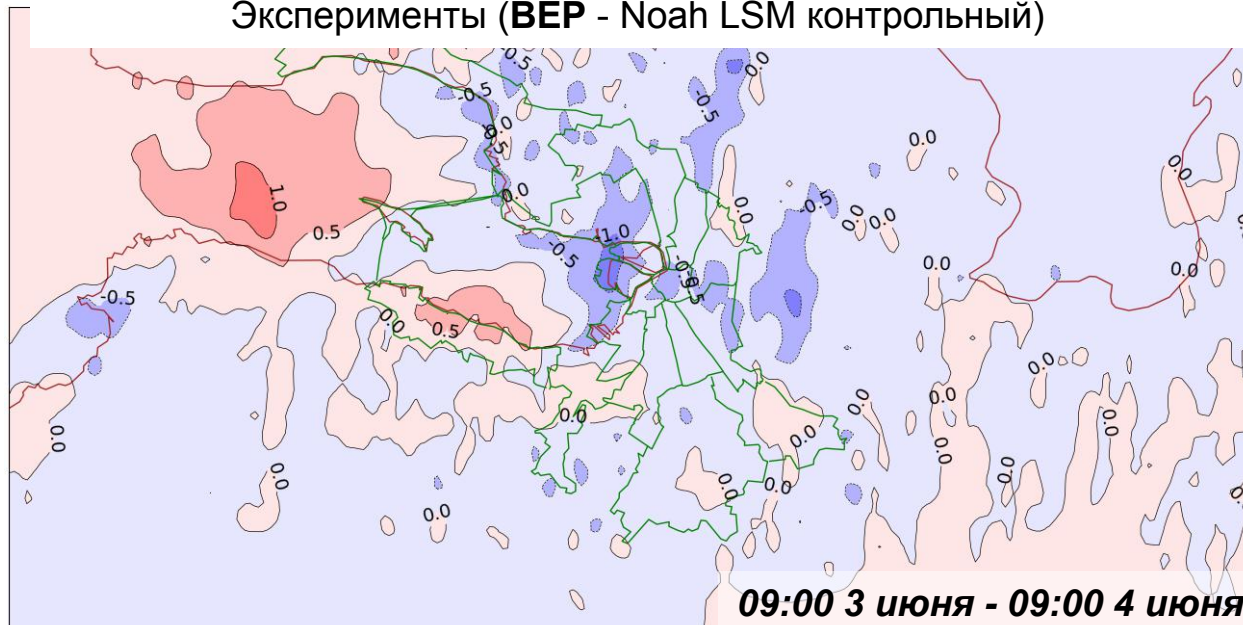
1881-1960 гг.

Станции ИЦП, Воейково

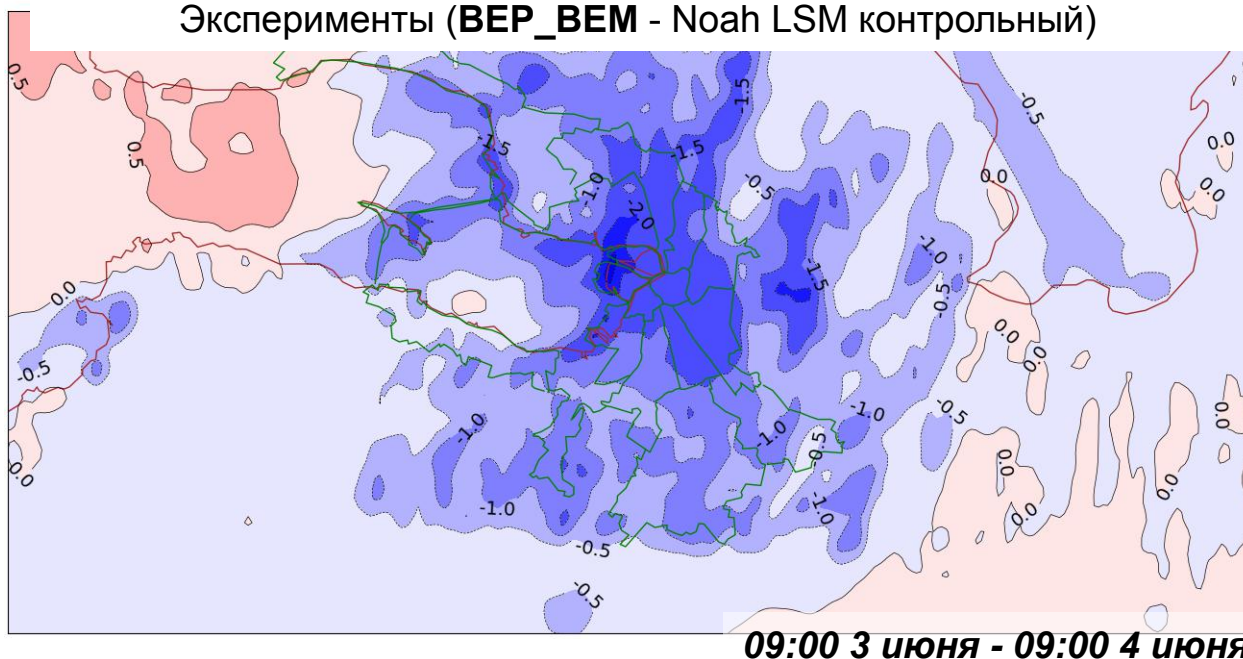
- ветер в городе по сравнению с окраинами и пригородами **ослаблен на 40..50%**.
- в среднем скорость ветра за городом в **теплый период** на **1,5..2 м/с больше**, чем в Санкт-Петербурге на тех же высотах

(Швер, 1982)

Эксперименты (ВЕР - Noah LSM контрольный)



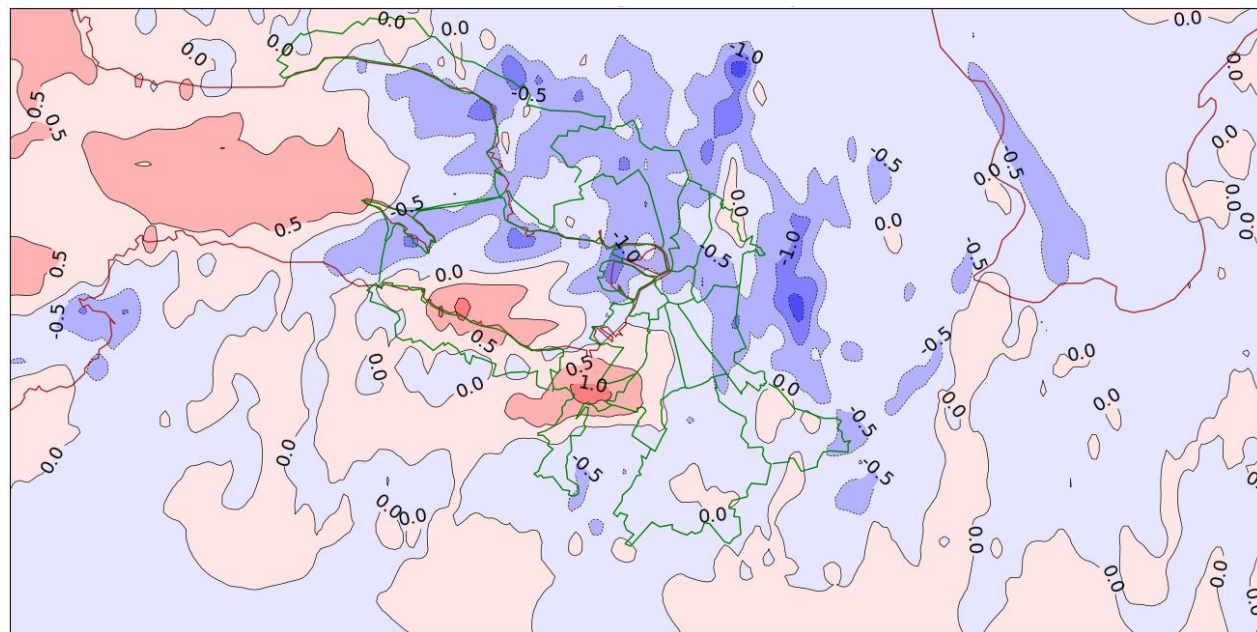
Эксперименты (ВЕР_ВЕМ - Noah LSM контрольный)



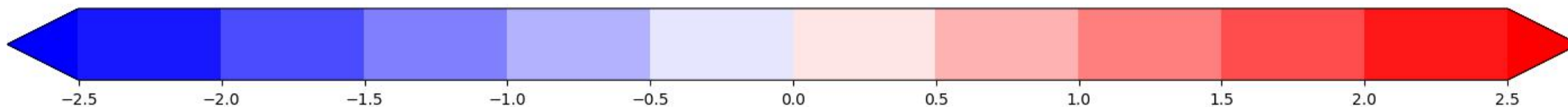
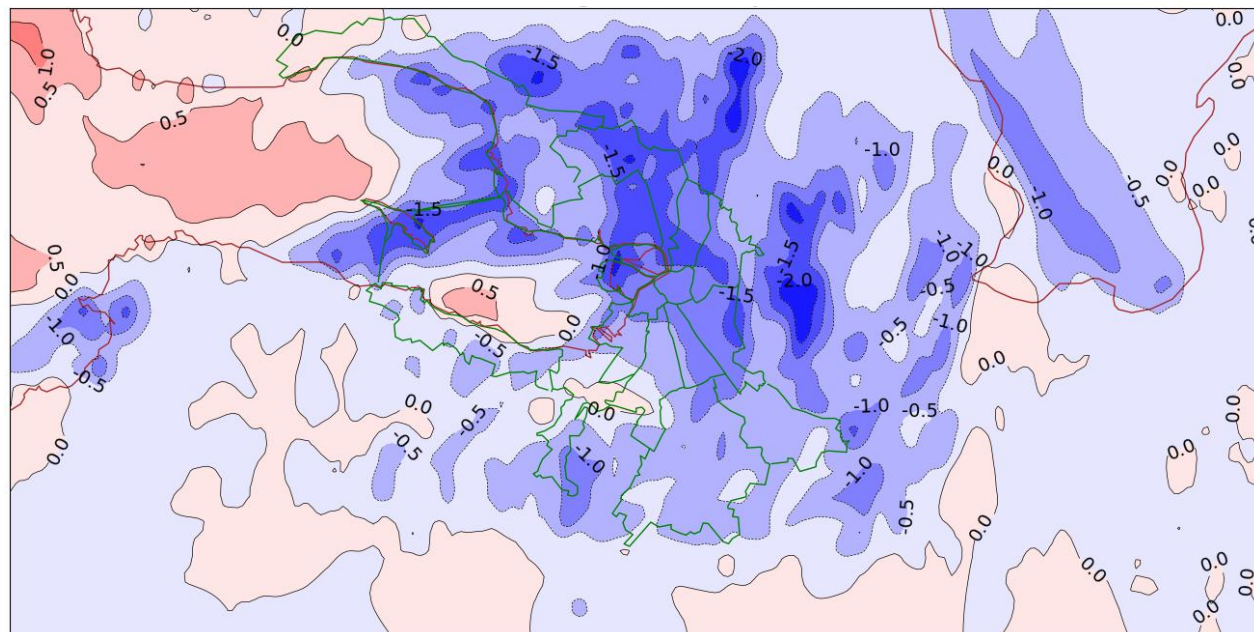
АНОМАЛИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА У ЗЕМЛИ (НОЧЬ)

21:00 3 ИЮНЯ - 09:00 4 ИЮНЯ

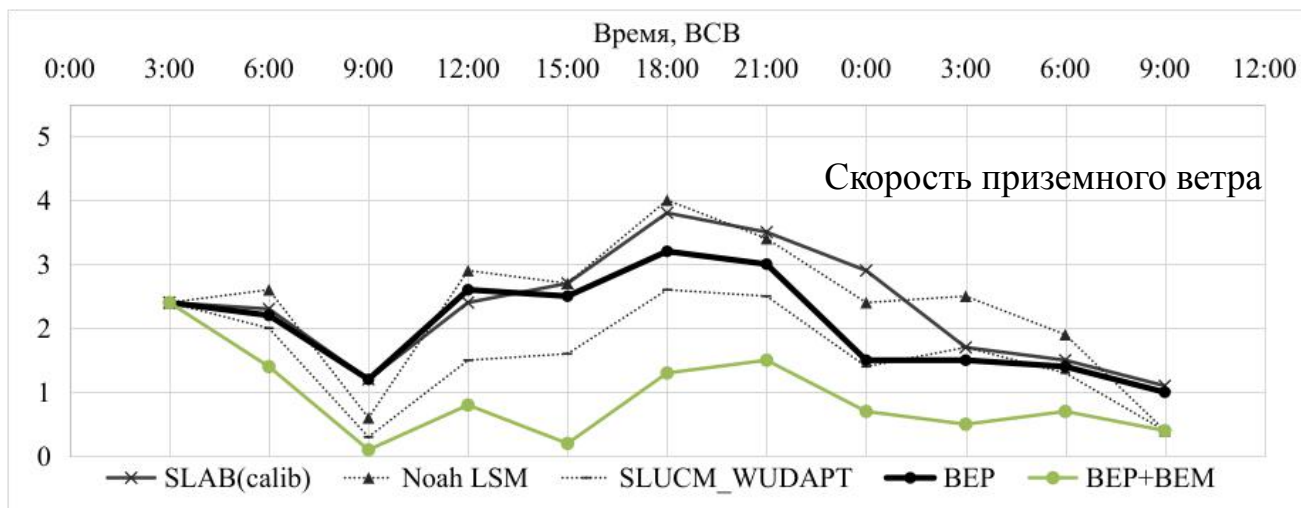
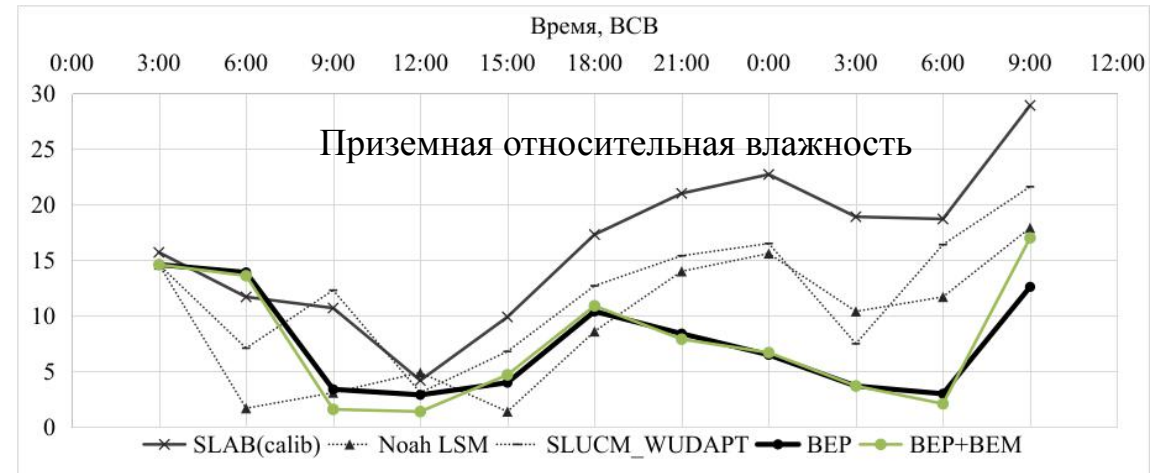
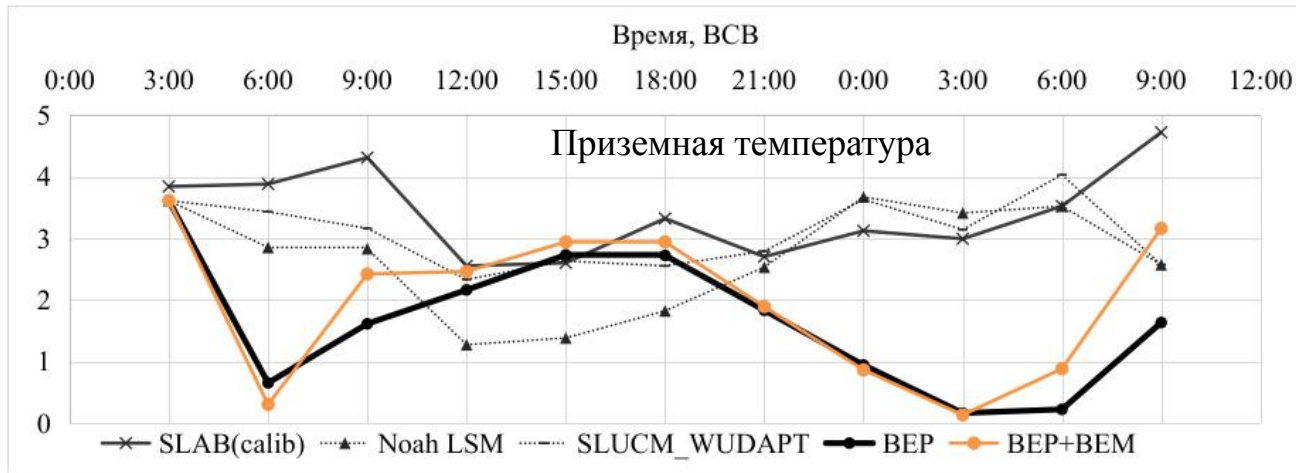
Эксперименты (**ВЕР** - Noah LSM контрольный)



Эксперименты (**ВЕР_BEM** - Noah LSM контрольный)



ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЛЯ СЛУЧАЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОТ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ



Наименьших показателей **абсолютной ошибки** прогноза

- приземной **температуры** и относительной **влажности** удалось добиться в эксперименте **БЕР**
- скорости приземного **ветра** - в эксперименте **БЕР+ВЕМ**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- С использованием модели WRF-ARW, объединенной с многоуровневой моделью городского полога, а также с привлечением дополнительных данных о свойствах урбанизированной поверхности удалось воспроизвести погодные урбанистические эффекты в численных экспериментах в условиях проявления ГОТ высокой интенсивности
- Согласно результатам верификации численные эксперименты целесообразно продолжать с конфигурацией ВЕР_ВЕМ
- Приоритетной задачей является добиться устойчивого счета ВЕР_ВЕМ за счет уточнения параметров урбанизированной поверхности

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!