

АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА ВБЛИЗИ ЗВЕНИГОРОДА И В МОСКВЕ: НАСКОЛЬКО И КОГДА ПРИГОРОД МОЖНО СЧИТАТЬ ФОНОМ

А.А. Виноградова, Д.П. Губанова, Ю.А. Иванова

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

**V Всероссийская конференция с международным участием
«Турбулентность, динамика атмосферы и климата»,
посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова**

19–21 ноября 2024, г. Москва

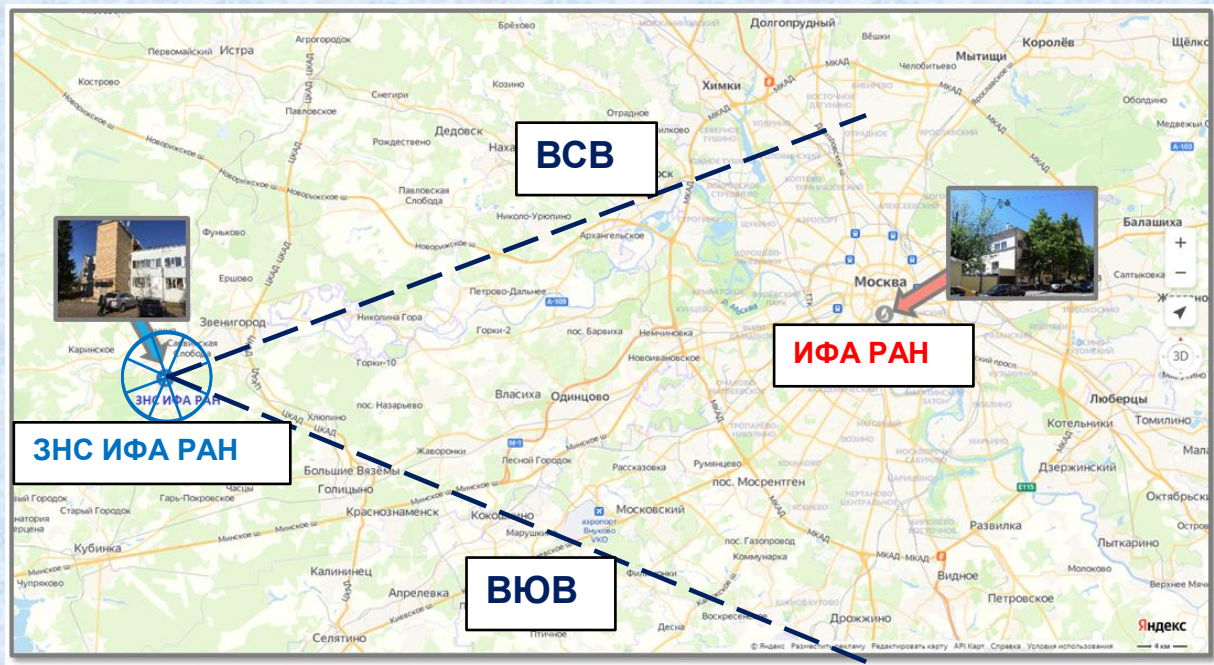
Цель и задачи исследования

Цель работы – оценка уровня пригородного фона аэрозольного загрязнения приземного воздуха в Московской области и вклада самого московского мегаполиса в аэрозольное загрязнение городского воздуха

В настоящей работе проведены:

- 1) анализ метеопараметров и их трендов в Москве и в Звенигороде за 10 лет (2014-2023);**
- 2) анализ массовой концентрации аэрозолей разной размерности в пригороде и в центре города (по собственным наблюдениям), а также в среднем по Москве (данные ГПБУ Мосэкомониторинг) – за 4 года измерений (2020-2023);**
- 3) оценка частоты и масштаба влияния прямой адвекции аэрозолей города на загрязнение воздуха в пригороде;**
- 4) выявление уровня пригородного фона аэрозольного загрязнения воздуха в западном Подмосковье;**
- 5) оценка количественных показателей влияния всего города на пригород – по данным аэрозольных измерений «Мосэкомониторинг» (МЭМ)**

Исходная информация: пункты наблюдений и метеорология



При восточных ветрах
на ЗНС
(ВСВ+В+ВЮВ) –
прямая адвекция
воздуха и загрязнений
из города.

Метеоданные с
сайтов:

<https://rp5.ru;>
<https://www.windy.com/ru;>
[http://weatherarchive.ru/Pogoda/Moscow\)](http://weatherarchive.ru/Pogoda/Moscow)

ГОРОД – зона городской плотной застройки – **ИФА РАН** (Пыжевский пер., д. 3. административный центр. ЦАО г. Москвы; 55.74° с.ш.. 37.62° в.д.);

ПРИГОРОД – загородная зона умеренной застройки и озеленённых ландшафтов – **ЗНС ИФА РАН** (дер. Новошихово. Одинцовский район Московской обл.; 55.70° с.ш.. 36.78° в.д.).

Пункты наблюдений находятся на расстоянии около 55 км по прямой.
почти на одной широте.

Исходная информация: методика измерений и аппаратура

Аэрозольный комплекс ИФА РАН



Эксперимент реализуется:
июнь 2019 г. – настоящее время

**Аэрозольный комплекс ЗНС
ИФА РАН**



Отбор проб аэрозоля
осуществляется
непрерывно на высоте
около 2 м над уровнем
земли. В данной работе
рассматриваются PM_{10} ,
 $PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$.
Привлекаются данные
измерений ГПБУ
Мосэкомониторинг.

Исследование микрофизических характеристик (дисперсный состав, счетная и массовая концентрация аэрозольных частиц разных размерных фракций)

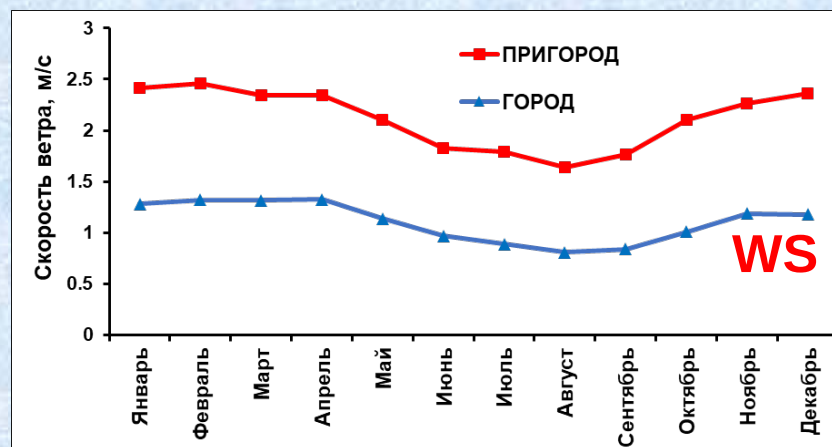
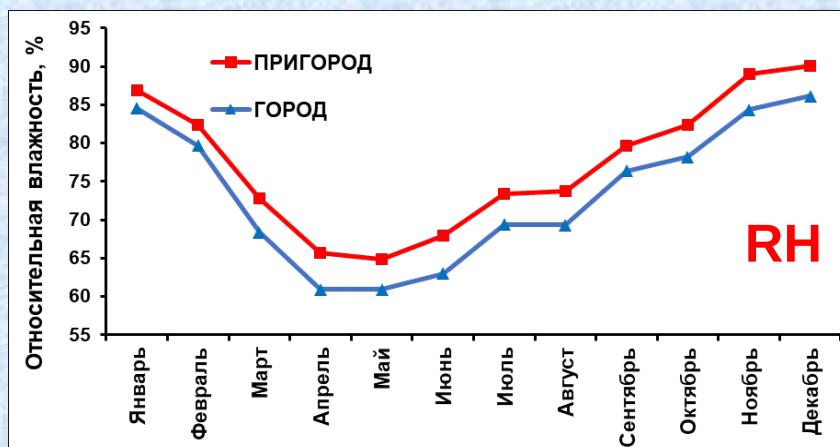
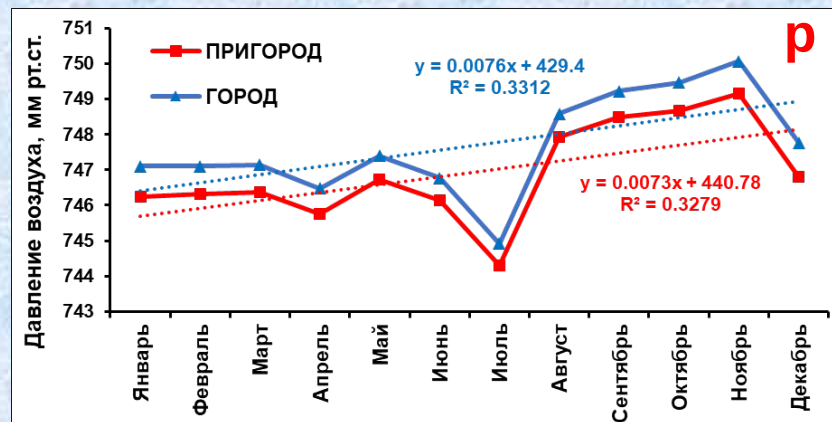
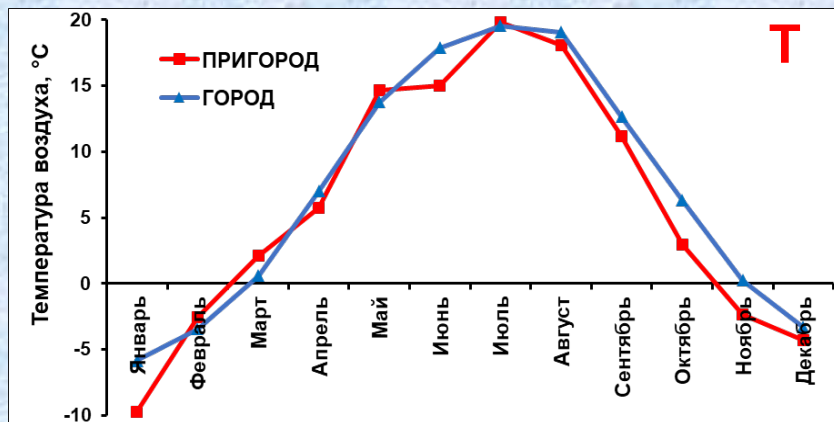
- ❑ лазерный аэрозольный спектрометр ЛАС-П для определения распределения по размерам и счетной концентрации аэрозольных частиц размером 0.15 – 2.0 мкм при концентрации до $2 \cdot 10^3$ частиц/см³. 10 каналов измерений;
- ❑ оптико-электронный аэрозольный спектрометр ОЭАС-05 для определения распределения по размерам и счетной концентрации аэрозольных частиц размером 0.2 – 10.0 мкм при концентрации до 10^3 частиц/см³. 10 каналов измерений.

Массовая концентрация определяется расчетным методом: $M_i(D_p) = \frac{\pi}{6} \rho \times D_p^3 \times N_i(D_p)$,

где $\rho = 1.8$ г/см³ – плотность частиц городского аэрозоля, D_p – средний диаметр частиц в каждой размерной фракции (в предположении, что все частицы – сферические), $N_i(D_p)$ – счетная концентрация частиц каждой размерной фракции: $N_i(D_p) = \int_{D_{p1}}^{D_{p2}} n_N^0 d \log_{10}(D_p)$, $n_N^0 = dN/d \log_{10}(D_p)$ – измеренное приборами ЛАС-П и ОЭАС-05 распределение числа аэрозольных частиц по размерам.

МЕТЕО – город и пригород: средний сезонный ход за 10 лет (2014-2023)

[<http://rp5.ru>. <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php>]



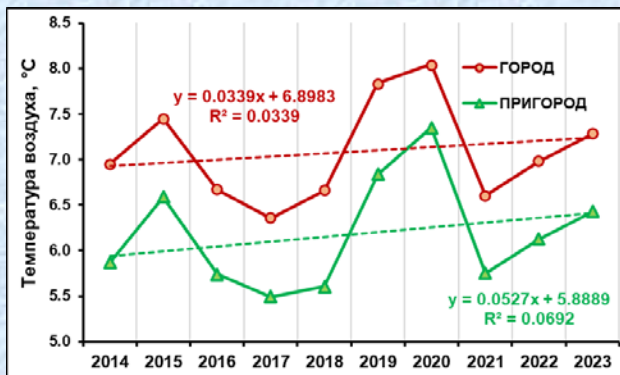
Давление по абсолютной величине отличается мало,
в среднем (за 10 лет) сезонном ходе растёт к концу года

Температура воздуха в городе в среднем на 0.9 градуса выше, чем в пригороде

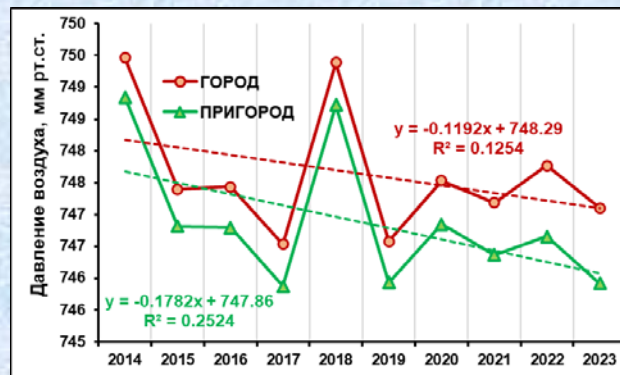
**Относительная влажность в городе в среднем на 4% ниже, чем в пригороде,
и эта разница растёт**

Скорость ветра примерно вдвое выше в пригороде, чем в городе

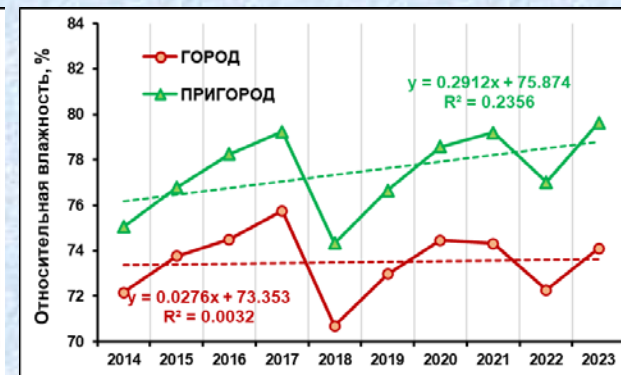
МЕТЕО – город и пригород : 10-летний ход среднегодовых (2014-2023)



Т



р



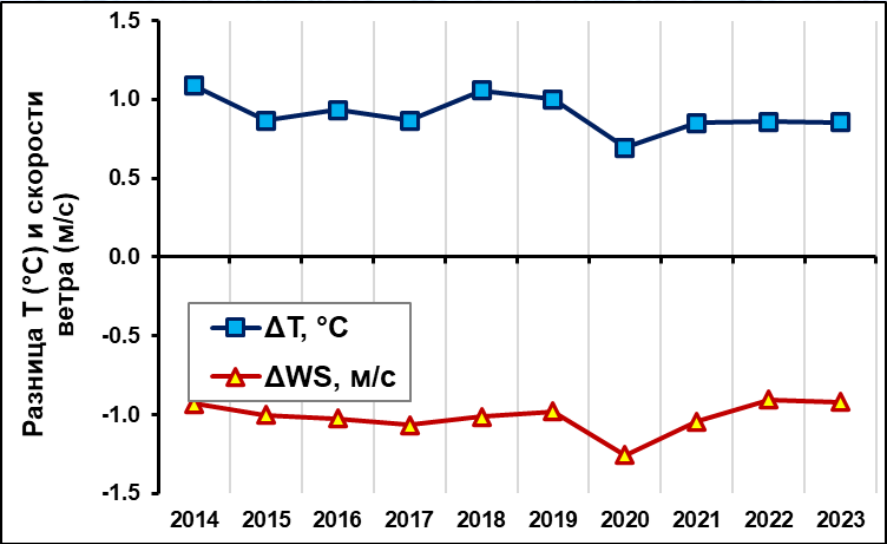
RH

Красный – город. Зелёный - пригород

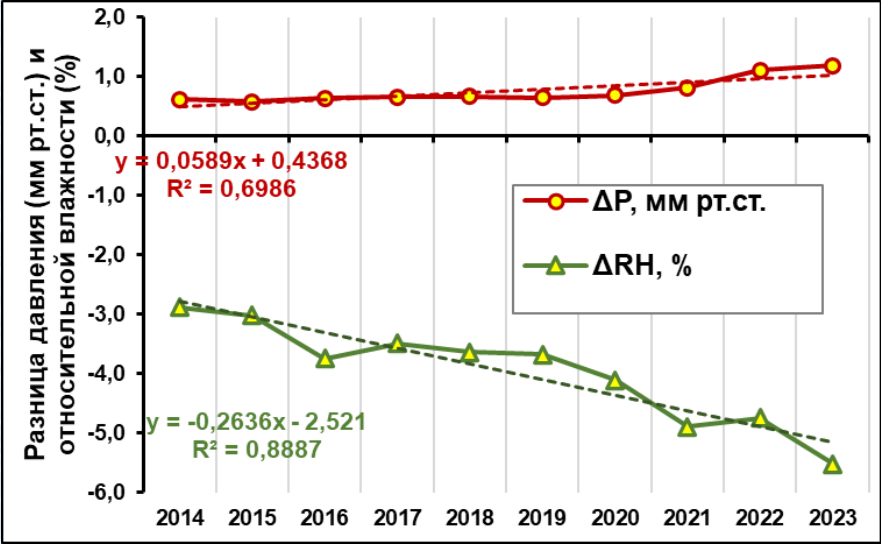
Скорость роста среднегодовой температуры примерно в 1.5 раза выше в пригороде

	Тренд температуры		Тренд давления		Тренд влажности
Город	0.34	град/10 лет	-1.2	мм рт.ст. за 10 лет	нет
Пригород	0.53	град/10 лет	-1.8	мм рт.ст. за 10 лет	2.9 % за 10 лет
	достоверность мала			$R^2=0.25$	$R^2=0.24$

РАЗНИЦА среднегодовых показателей: «город–пригород»



$\Delta T; \Delta WS$



$\Delta p; \Delta RH$

КОРРЕЛЯЦИИ			
p-RH	-0.78	город	
	-0.82	пригород	
T-WS	-0.11	город	Неоднородности ландшафта и прогрева
	0.31	пригород	

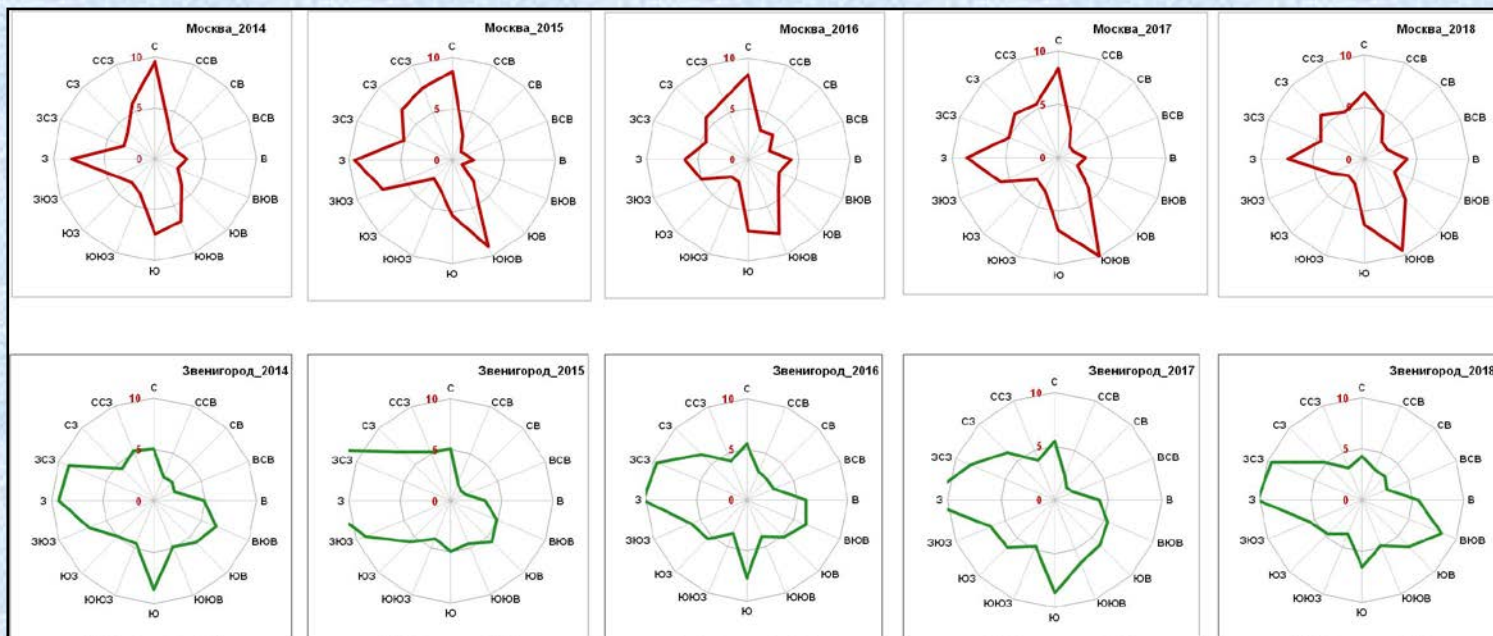
Значимые тренды РАЗНИЦЫ давления и влажности			
Δp	0.6	мм рт.ст. за 10 лет	$R^2 = 0.70$
ΔRH	-2.6	% за 10 лет	$R^2 = 0.89$

Розы ветров по годам_2014-2023

Москва

2014 - 2018

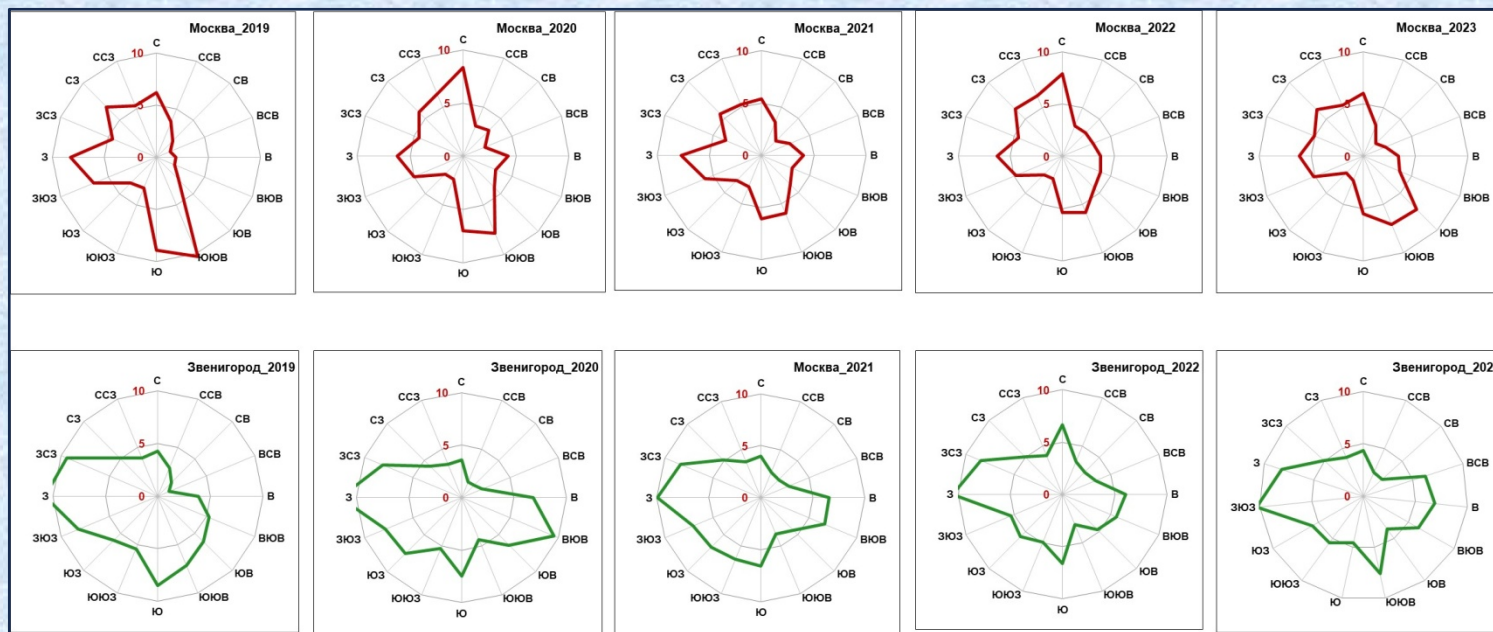
Звенигород



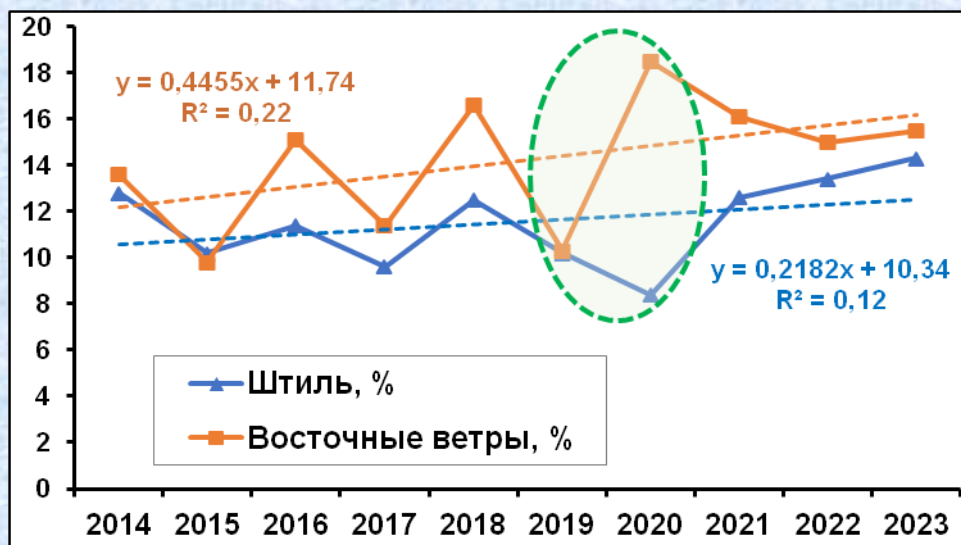
Москва

2019 - 2023

Звенигород



Восточный ветер ВВ (частота ВСВ+В+ВЮВ) и штиля в пригороде



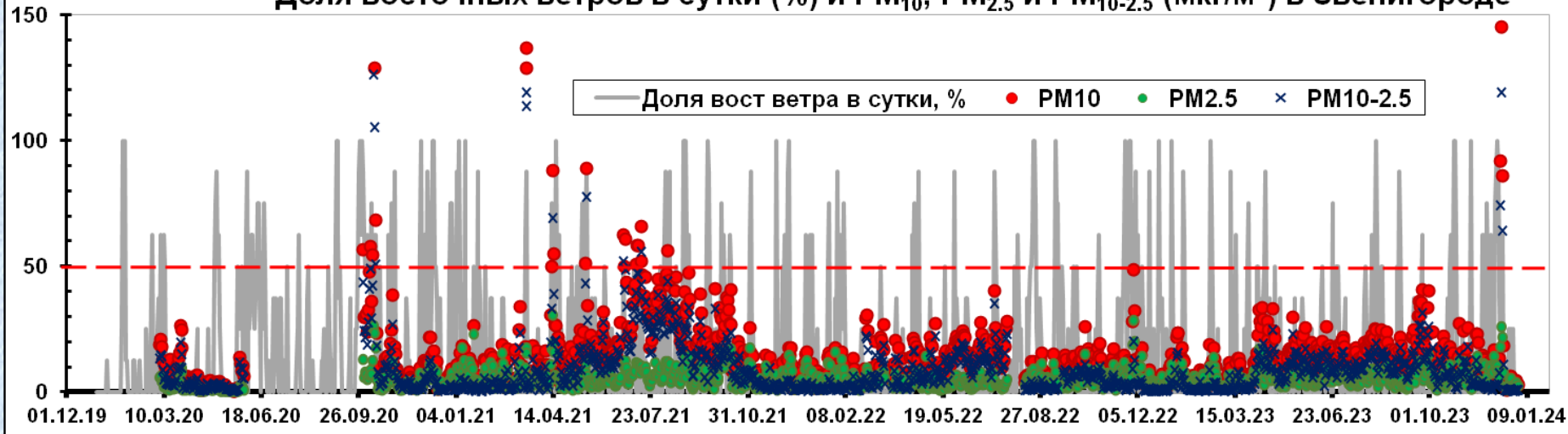
Среднегодовая

Среднемесечная

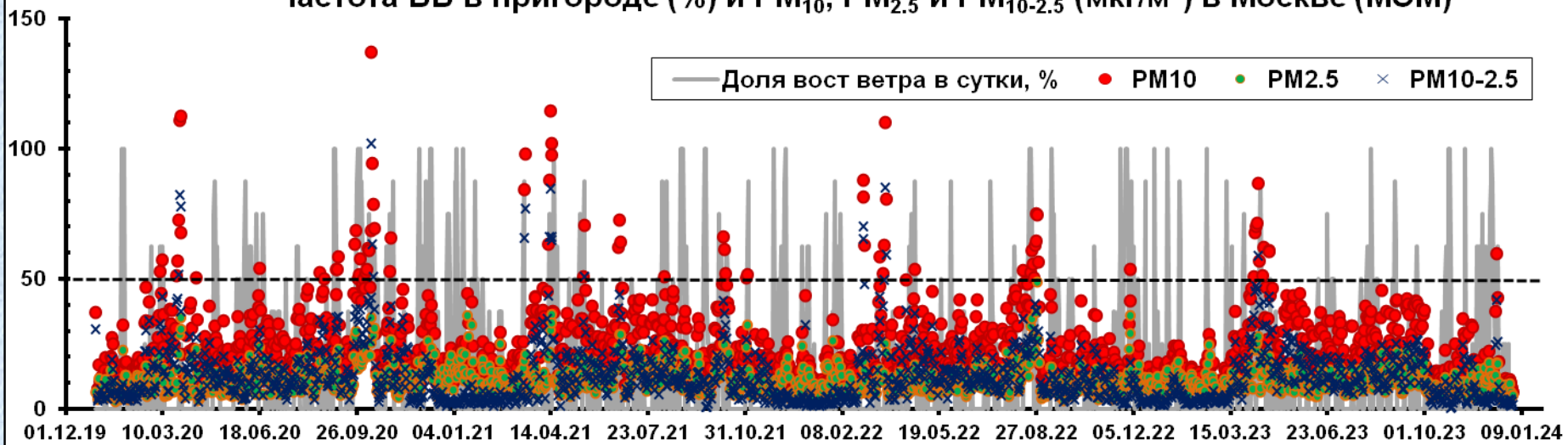


Восточный ветер в пригороде и концентрации РМ при этом в городе (в среднем по МЭМ) и пригороде (ЗНС)

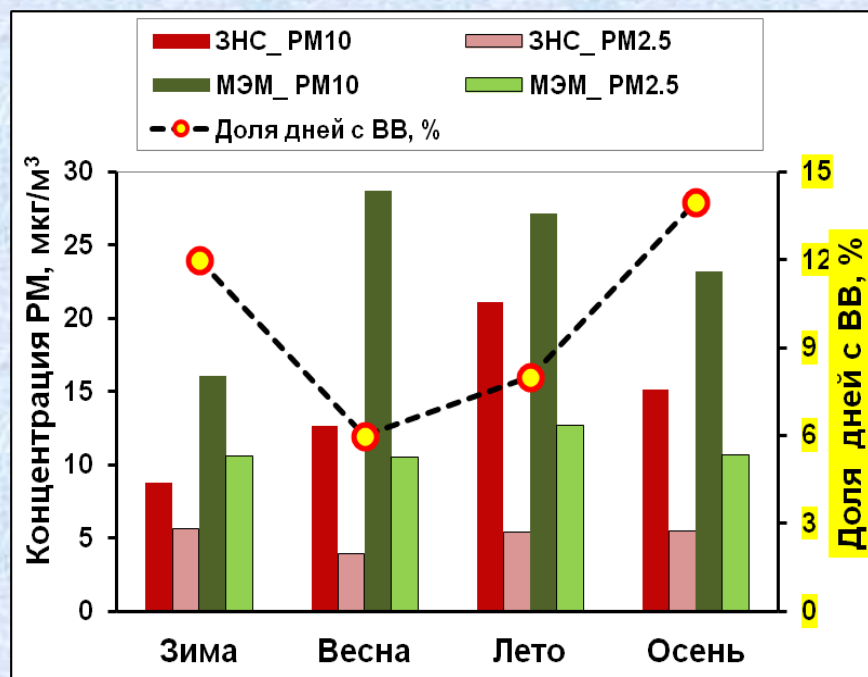
Доля восточных ветров в сутки (%) и PM_{10} , $PM_{2.5}$ и $PM_{10-2.5}$ (мкг/м³) в Звенигороде



Частота ВВ в пригороде (%) и PM_{10} , $PM_{2.5}$ и $PM_{10-2.5}$ (мкг/м³) в Москве (МЭМ)



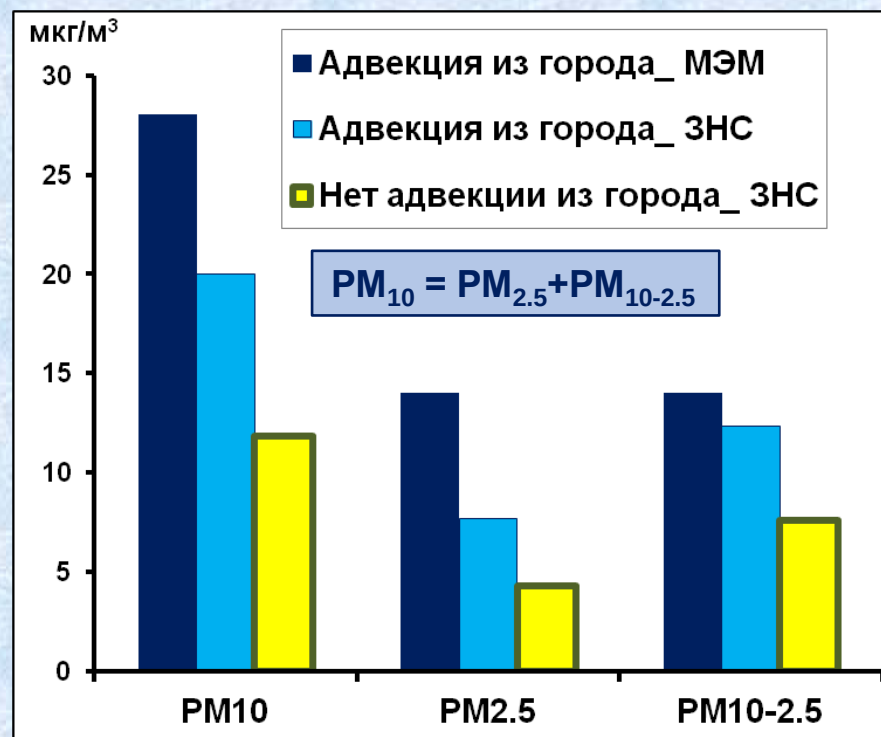
Соотношения уровней аэрозольного загрязнения



Средние концентрации PM по сезонам

Поскольку в среднем за год восточные ветры на ЗНС регистрируются при 10% стандартных наблюдений (от 6% весной до 14% осенью).

Преимущественное загрязнение воздуха в этом пункте аэрозолями из города маловероятно.

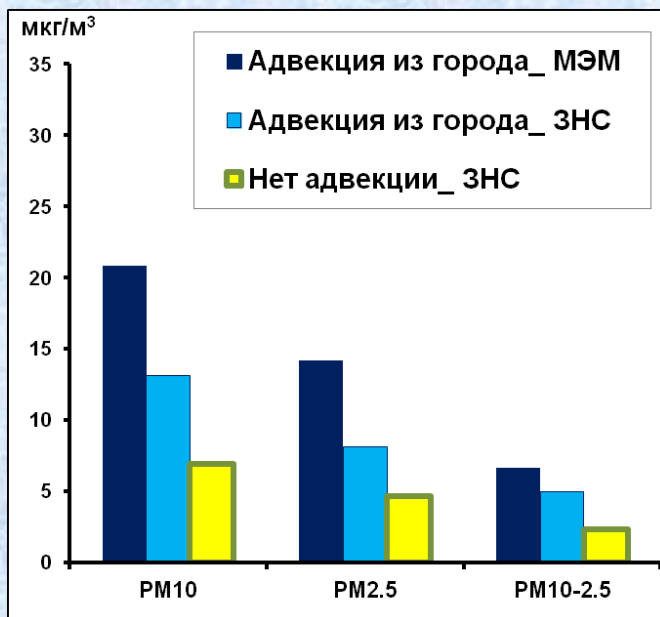


Влияние адвекции из города на концентрацию аэрозолей разной размерности в пригороде в среднем за год

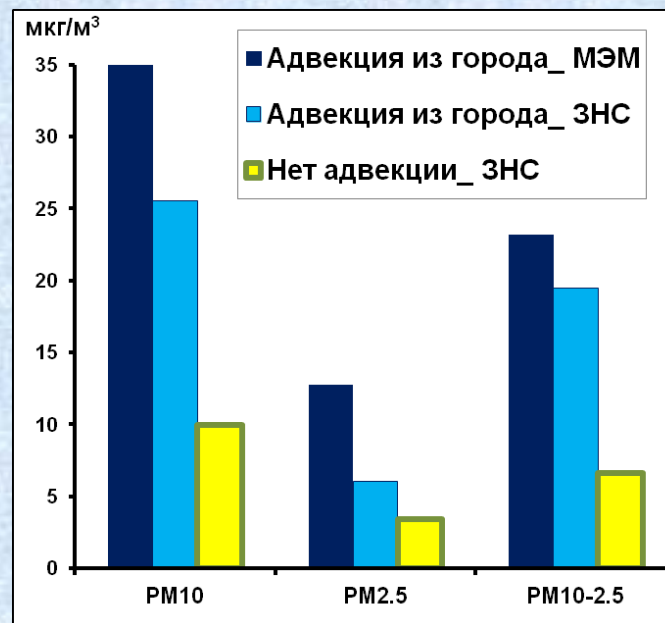
Жёлтые столбики – среднегодовой пригородный фон

Влияние адвекции аэрозолей из города – по сезонам

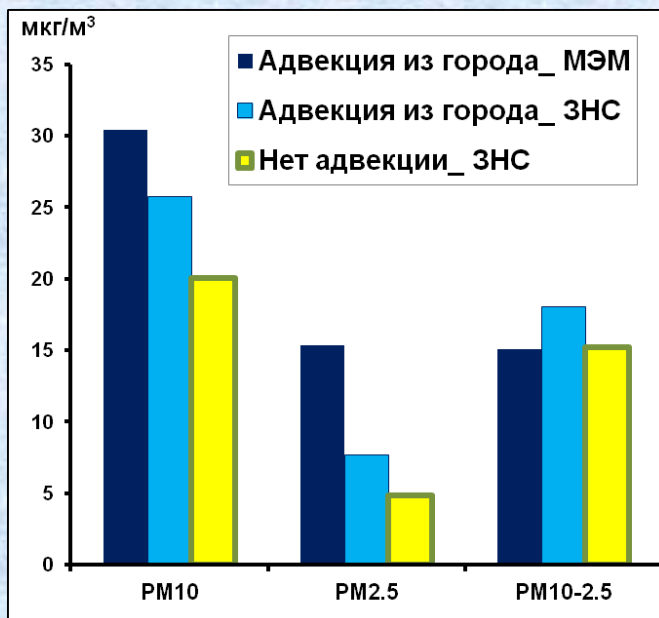
ЗИМА



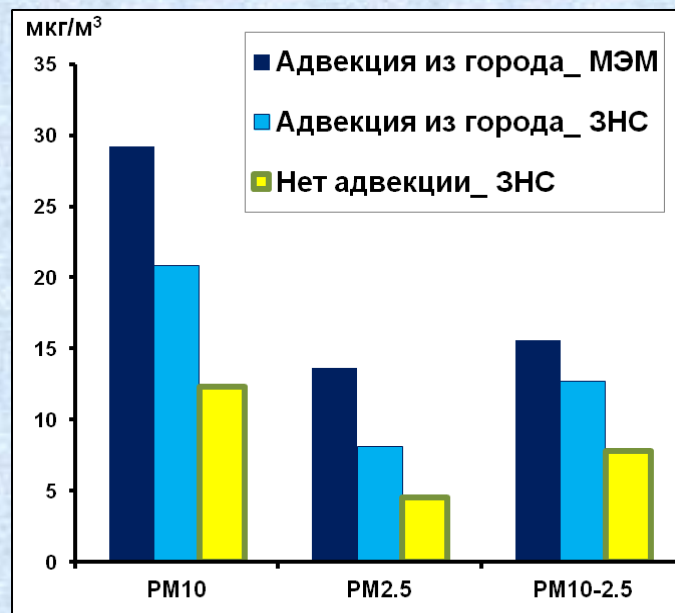
ВЕСНА



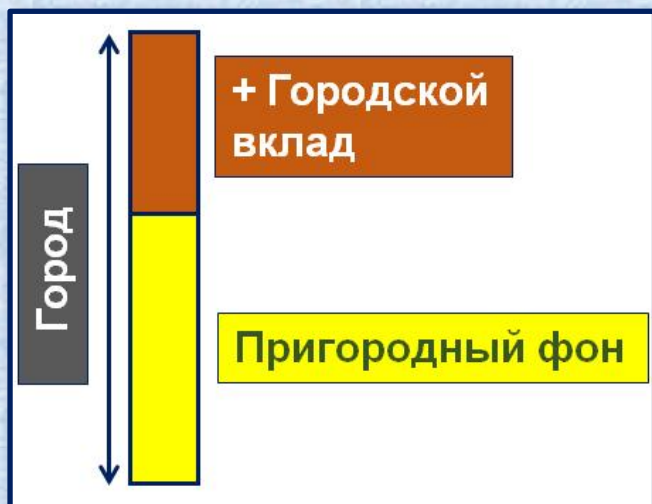
ЛЕТО



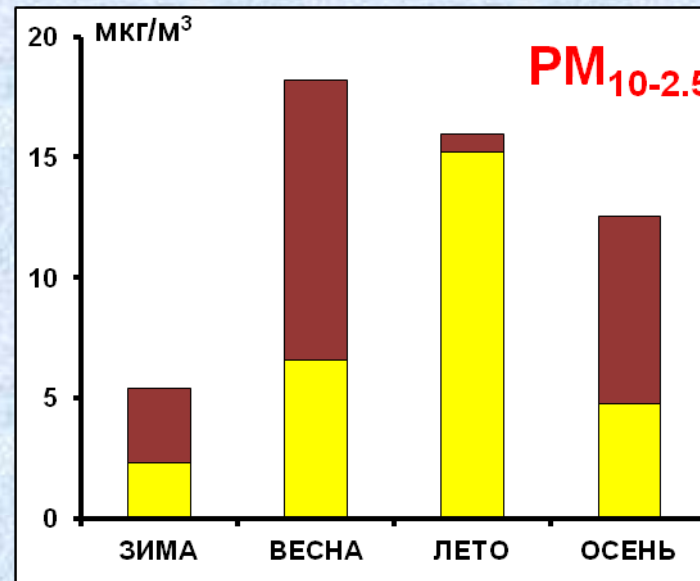
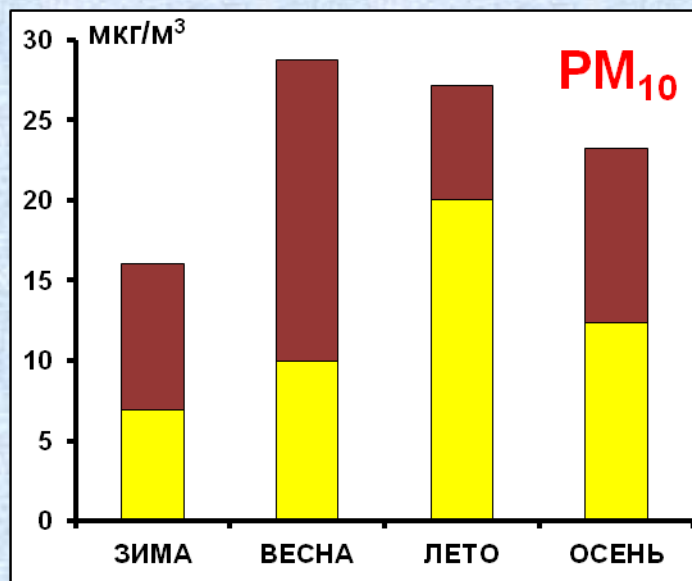
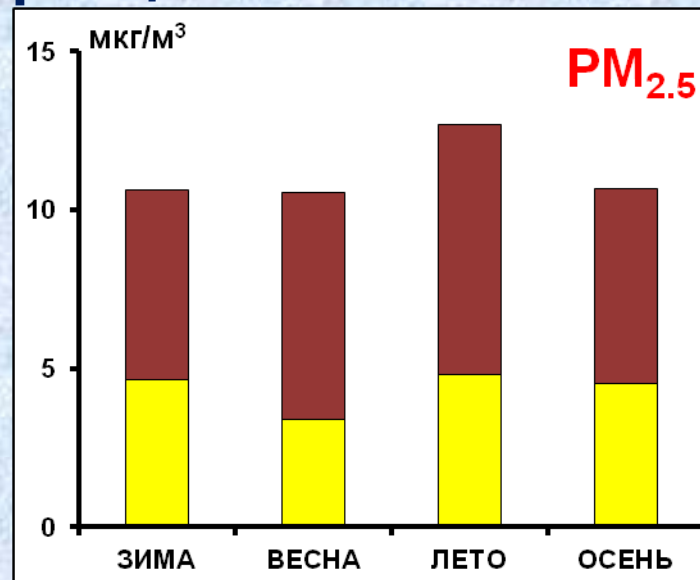
ОСЕНЬ



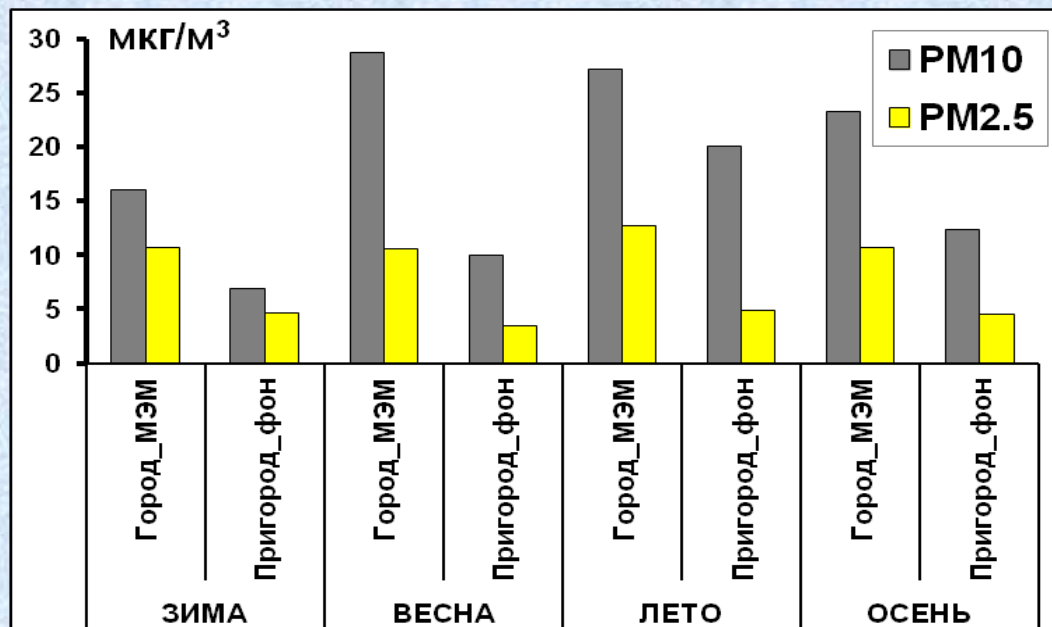
Сравнение концентрации пригородного фона и городского аэрозоля в разные сезоны для разных размерных фракций



$$PM_{10} = PM_{2.5} + PM_{10-2.5}$$



Сравнение концентраций PM_{10} и $PM_{2.5}$ в Москве и в пригороде



Москва – по средним значениям для всех станций МЭМ на территории города. Западный пригород – ЗНС без восточных ветров

Сезон	Где	PM_{10} , мкг/м ³	$PM_{2.5}$, мкг/м ³
ЗИМА	Город_МЭМ	16.0 ± 8.3	10.6 ± 5.2
	Пригород_фон	6.9 ± 7.1	4.6 ± 2.6
ВЕСНА	Город_МЭМ	28.8 ± 18.5	10.5 ± 5.1
	Пригород_фон	9.9 ± 7.8	3.4 ± 2.1
ЛЕТО	Город_МЭМ	27.2 ± 11.4	12.7 ± 5.5
	Пригород_фон	20.0 ± 9.5	4.8 ± 1.8
ОСЕНЬ	Город_МЭМ	23.2 ± 15.3	10.7 ± 5.6
	Пригород_фон	12.3 ± 11.0	4.5 ± 2.8

Выводы

Изучены различия метеорологических условий за 10 лет (2014-2023) и состава приземных аэрозолей в Москве и пригороде в разные сезоны по непрерывным среднесуточным данным за 2020-2023 годы.

Учитывая, что ЗНС расположена почти точно в западном направлении от Москвы, определена частота и амплитуда влияния восточных ветров (ВВ) на состав аэрозоля в приземном воздухе западного пригорода Москвы.

ВВ наблюдаются на ЗНС в среднем за год в 10% случаев (от 6 до 14% в разные сезоны с минимумами весной и летом).

Выявлен и оценен пригородный фоновый уровень концентрации аэрозолей при отсутствии прямой адвекции загрязнений со стороны города. В разные сезоны он составляет 7–20 мкг/м³ для PM₁₀ и 3–5 мкг/м³ для PM_{2.5}.

Аэрозольная нагрузка на экосистемы города выше (по сравнению с фоновыми условиями в пригороде) в среднем за год в 2.1 и 2.6 раза, соответственно, по аэрозолям PM₁₀ и PM_{2.5}.

A photograph of a winter forest. The trees are covered in a thick layer of snow, and their branches are bare. A bright sunburst effect is visible in the background, creating a warm glow. The overall scene is serene and cold.

Благодарю за внимание!

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 23-27-00063