

АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ В МОСКВЕ И ЕГО РАДИАЦИОННЫЕ И ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Н.Е. Чубарова¹, Г.С. Ривин^{1,2}, А.А.Полухов^{1,2}, Ю.О. Хлестова^{1,2}, Е.Ю.Жданова¹, М.В. Шатунова², А.А.Кирсанов²,
О.Б. Поповичева¹, А.С.Иванов¹, И.Д. Еремина¹, Е.В. Вольперт¹, Е. Е. Андросова¹
natalia.chubarova@gmail.com

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
² Гидрометеорологический центр РФ, Москва, Россия

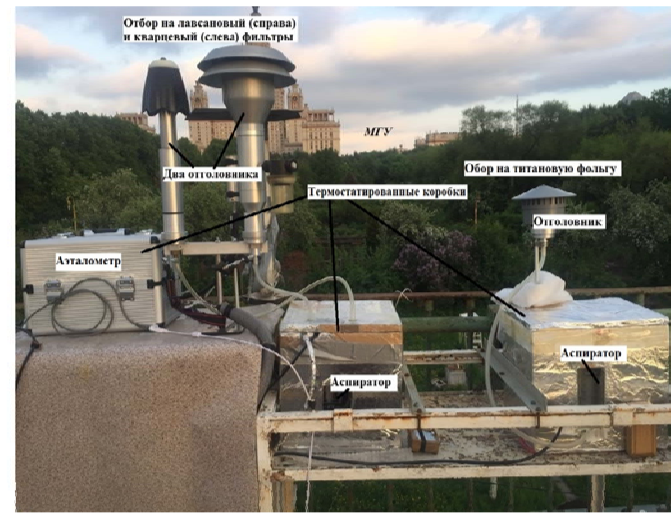
Резюме. Представлены результаты комплексного исследования урбанизированного аэрозоля, включая оценки его прямого и косвенного радиационного воздействия и влияния на прогноз наиболее важных метеорологических элементов. Для оценки городского аэрозольного загрязнения в Москве использовались данные мониторинга Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ), результаты спутникового восстановления аэрозольных свойств по данным радиометра MODIS с применением нового многоугольного алгоритма атмосферной коррекции (MAIAK), а также результаты расчетов по мезомасштабной модели COSMO и ее химического модуля COSMO-ART (aerosol, reactive trace gases). Для контроля городского аэрозольного загрязнения проводились сравнения измерений в МО МГУ и на Звенигородской научной станции (ЗНС) ИФА РАН в рамках программы AERONET. При анализе результатов особое внимание уделялось хорошо поглощающей солнечное излучение фракции аэрозоля - черному углероду, измерение которого проводилось в период весенних сезонов 2017-2018 гг. По данным моделирования с использованием различных аэрозольных климатологий и непосредственных данных наблюдений получены оценки аэрозольного влияния на радиационный и температурно-влажностный режим атмосферы. Оценки аэрозольного воздействия на солнечное излучение также проводились для облачных условий при учете различных схем облачно-радиационного взаимодействия в модели COSMO.
Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (грант №18-17-00149), многолетние сравнения аэрозольных свойств атмосферы в Москве с данными ЗНС ИФА РАН выполнены при поддержке гранта РФФИ (грант №16-05-00985).

Московский эксперимент AeroRadCity 2018

Весенняя аэрозольная кампания апрель-май 2018 г.

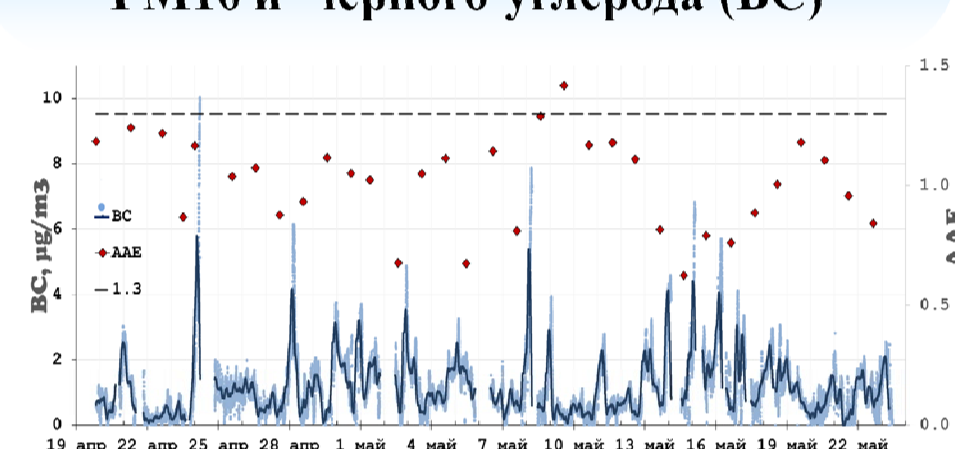


Метеорологическая обсерватория МГУ
• Данные измерений МО МГУ
• аэрозольные свойства атмосферы по данным AERONET
• солнечная радиация в различных спектральных диапазонах
• химический состав атмосферных осадков, метеорологические наблюдения

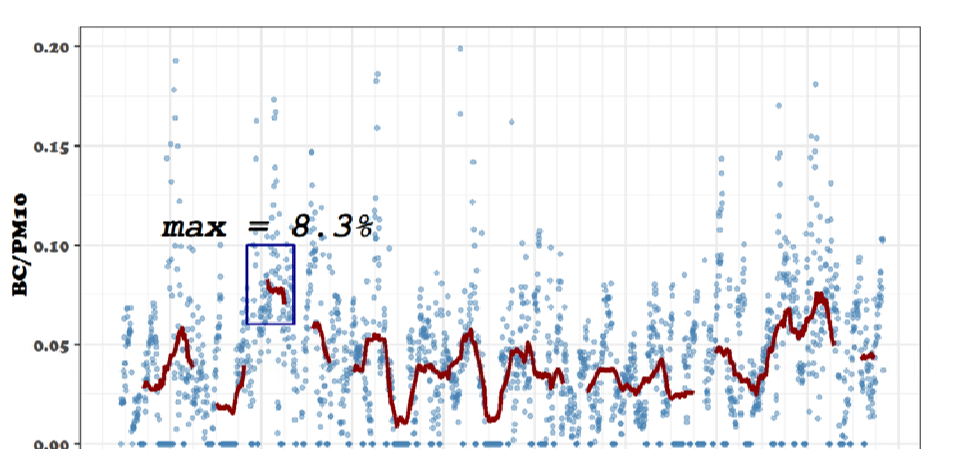


Портативная аэрозольная станция
• система отбора аэрозолей PM10
• портативный аэрозольный анализатор
• PM10 мониторинг (TEOM)

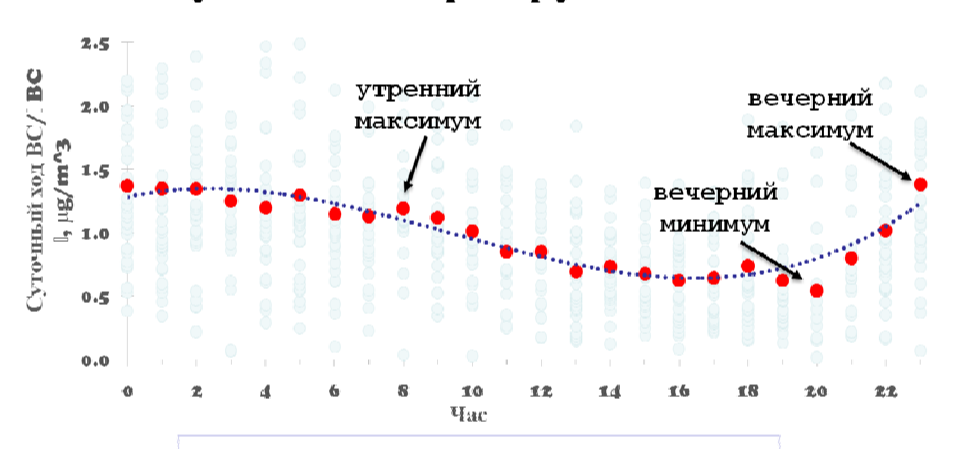
Массовая концентрация аэрозолей PM10 и черного углерода (BC)



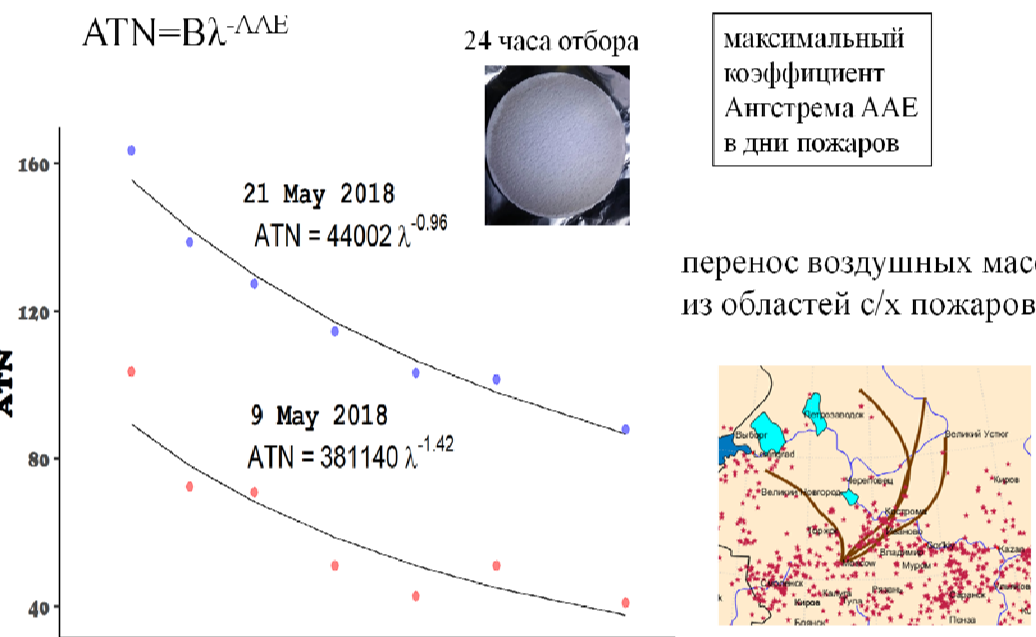
Степень загрязнения атмосферы



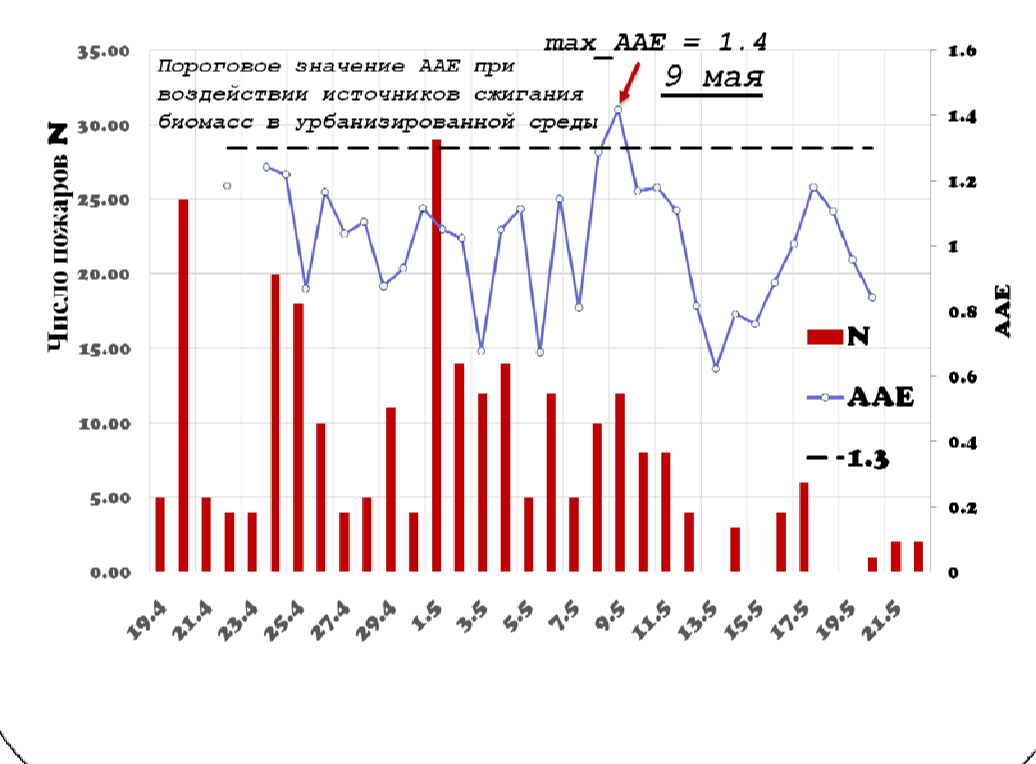
Суточная варируемость BC



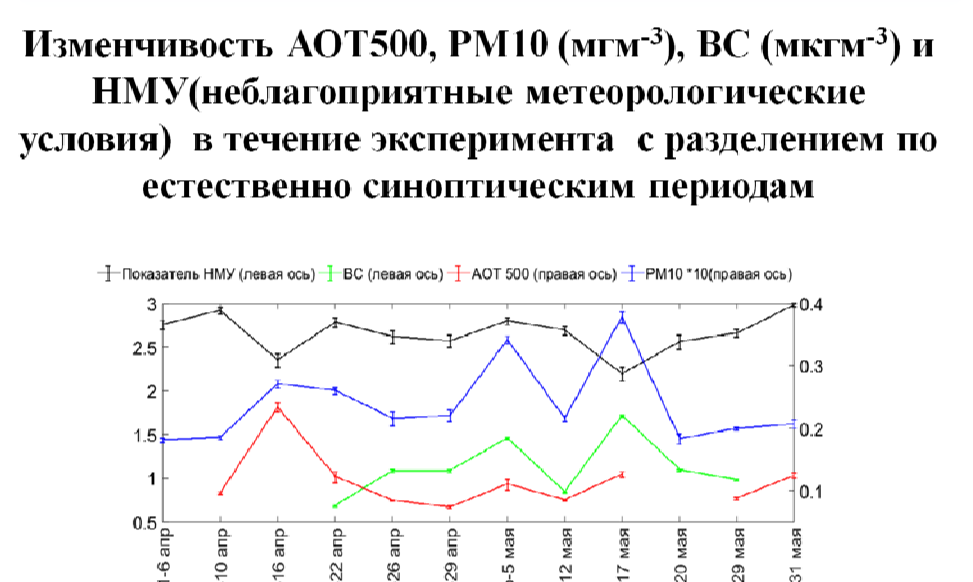
Спектральная зависимость поглощения аэрозолей



Вариации аэрозольных характеристик и влияние метеорологических факторов



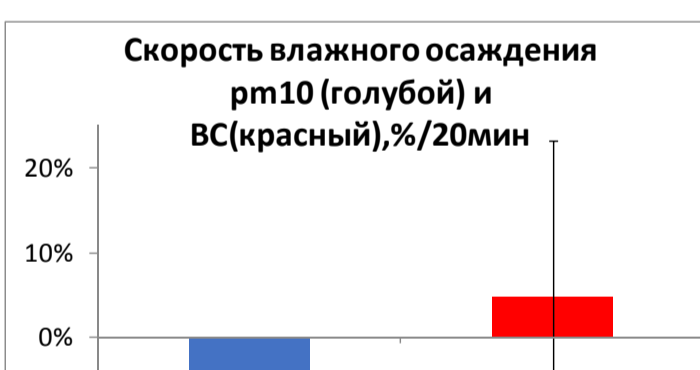
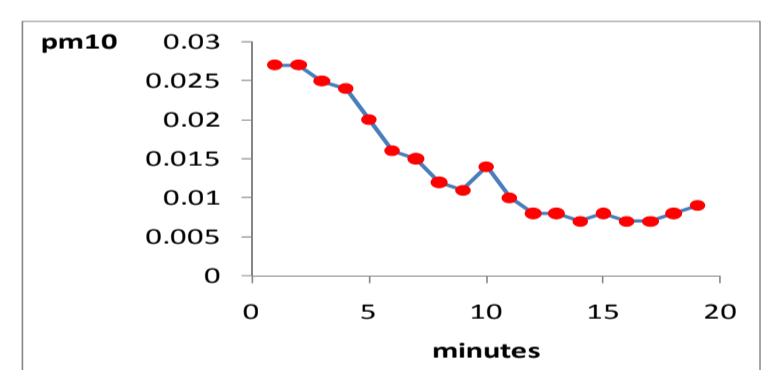
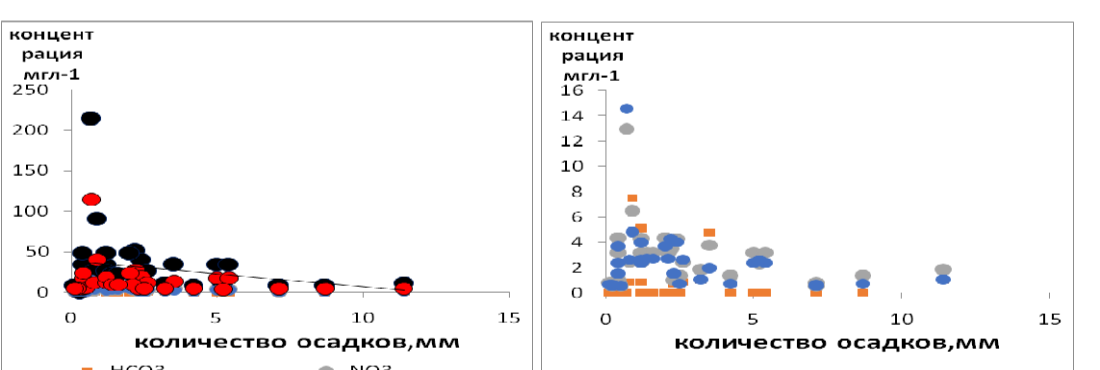
Вариации аэрозольных характеристик и влияние метеорологических факторов



Влияние направления и скорости ветра



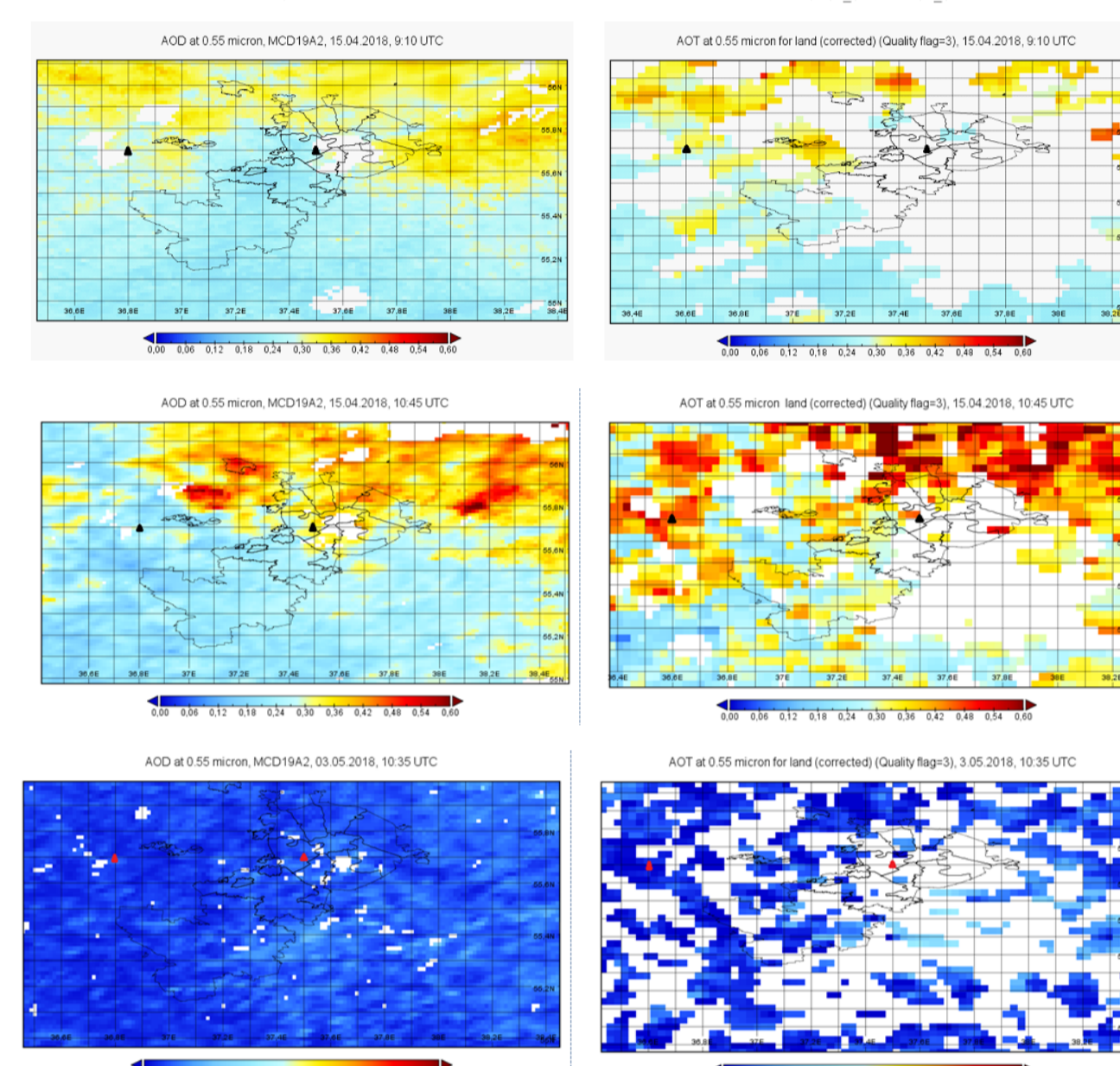
Зависимость концентрации ионов и минерализации от количества осадков и интенсивности влажного осаждения аэрозоля в Москве



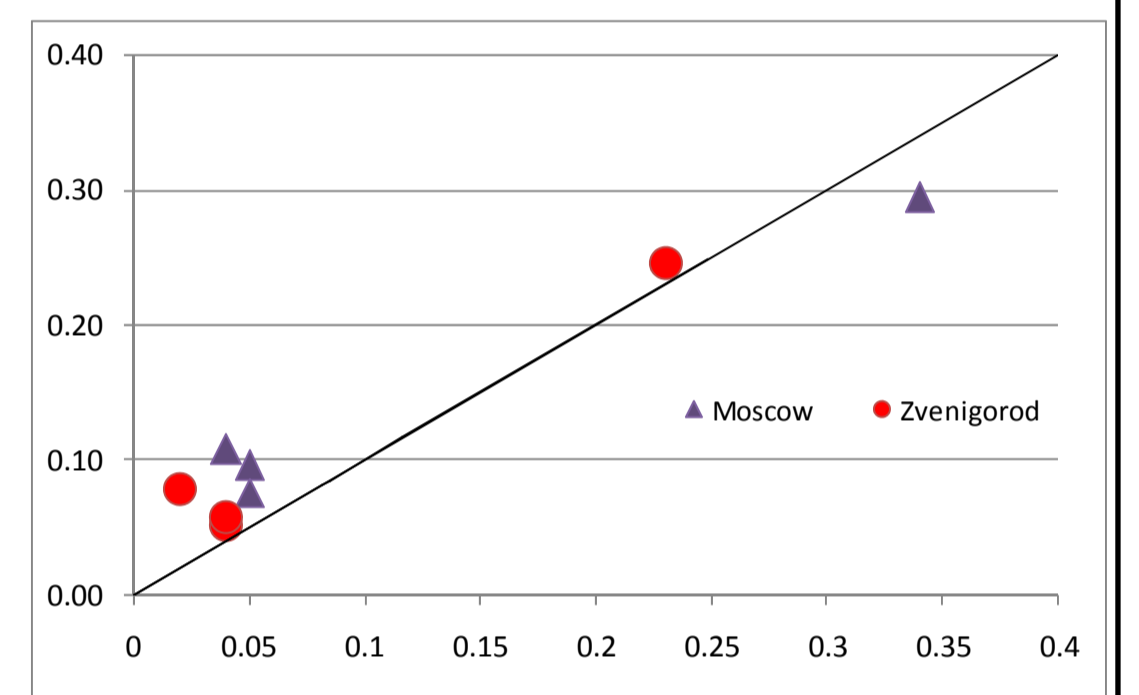
Зависимость концентрации ионов от количества атмосферных осадков

Пример типичного распределения типичного влажного осаждения, 03.04.2018

Восстановление AOT по данным нового спутникового алгоритма MAIAK (MODIS, MCD19.A2 version 6) и стандартного алгоритма (MOD04_3K и MYD04_3K (DB) коллекция 6.1) и сравнения с измерениями. Московский регион, апрель-май 2018.

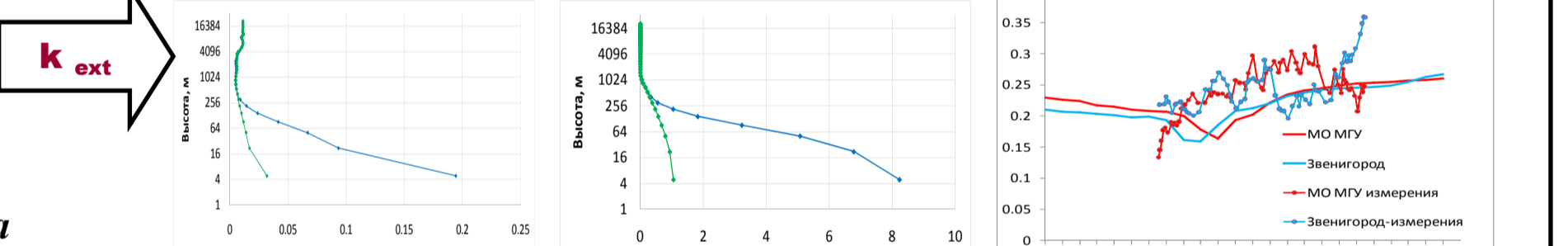


Сравнение данных измерений и спутниковых восстановлений по новому алгоритму MAIAK в Москве и Звенигороде



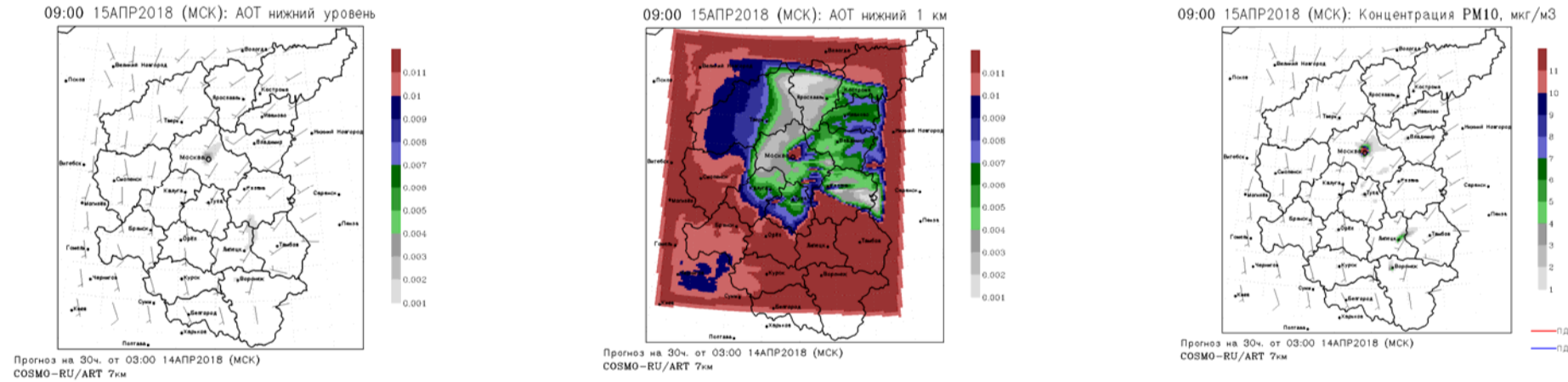
Расчет антропогенного аэрозоля в модели COSMO-ART. 15 апреля 2018

Вертикальное распределение аэрозольного коэффициента экстинкции и концентрации PM2.5 для МО МГУ и Звенигорода



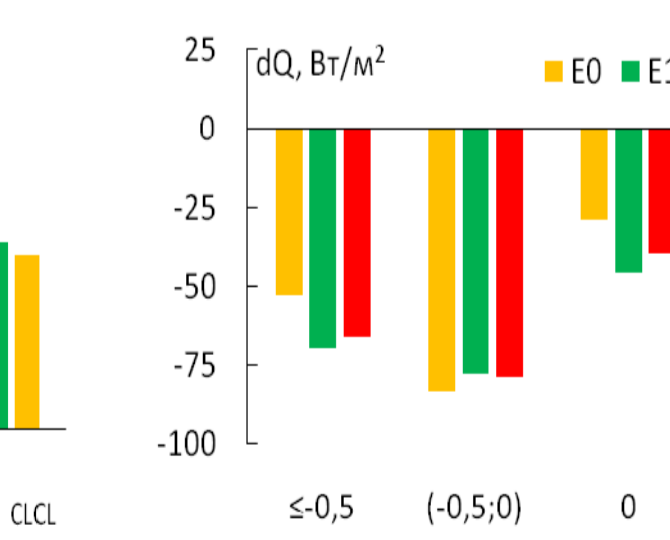
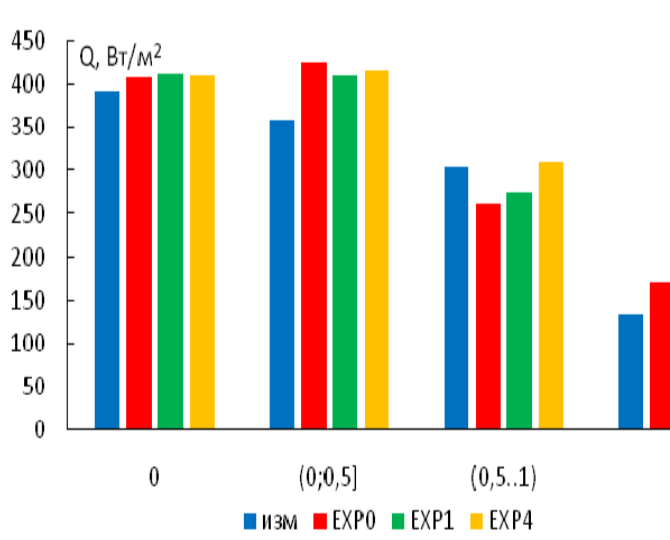
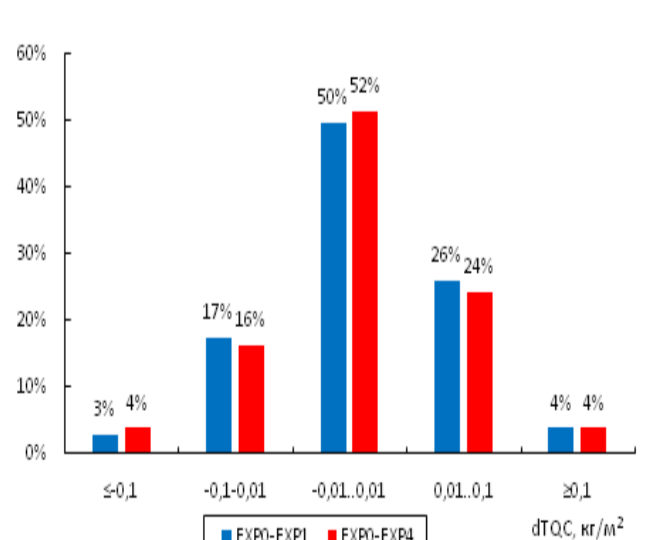
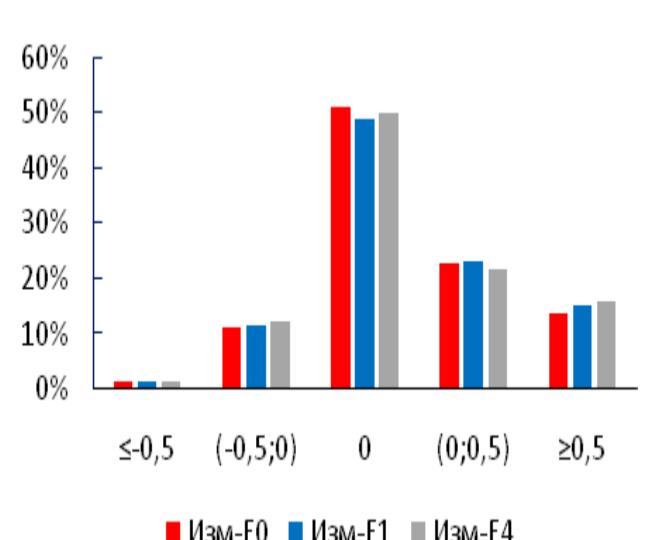
Суточный ход AOT в МО МГУ и Звенигороде 15 апреля 2018 г.

Пространственное распределение аэрозоля в Московском регионе (AOT550 в нижнем модельном слое) и PM10 для 30-часового прогноза на 9 часов (UTC) 15 апреля 2018 г.



Радиационные эффекты аэрозольно-облачного взаимодействия по данным расчетов с помощью стандартной и новой облачных схем модели COSMO-Ru1.

Проведены численные эксперименты: (E0) – расчеты с использованием стандартной схемы и аэрозольной климатологии Tegen (без учета взаимодействия) (Ritter, Geleyn, 1992) (E1) – расчеты с использованием новой схемы облачно-радиационного взаимодействия и аэрозольной климатологии Tegen (Khain, Muskatel, Blahak, 2018) (E4) – расчеты с использованием новой схемы и заданной концентрации аэрозольных частиц $N_a=4 \cdot 10^8$ частиц/м³ (Khain, Muskatel, Blahak, 2018) Результаты сравнивались с данными измерений суммарной радиации по балансомеру CNR4 фирмы Kipp&Zonen



Распределение разностей нижнего балла облаков в долях единицы (модель минус измерения)

Распределение разностей общего водосодержания (dTQC) относительно стандартной модели

Распределение средних значений рассчитанной и измеренной суммарной радиации по интервалам значений количества облаков нижнего яруса

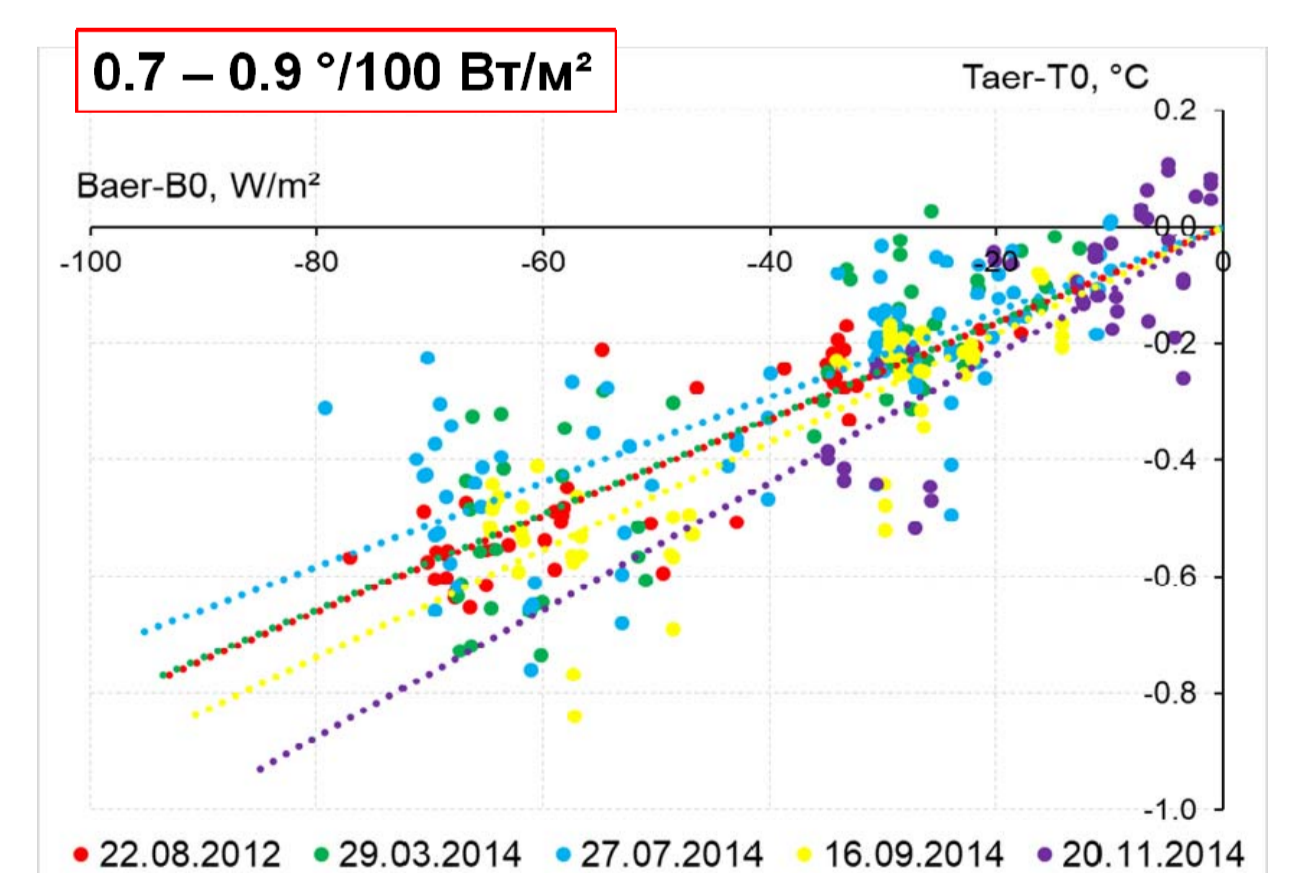
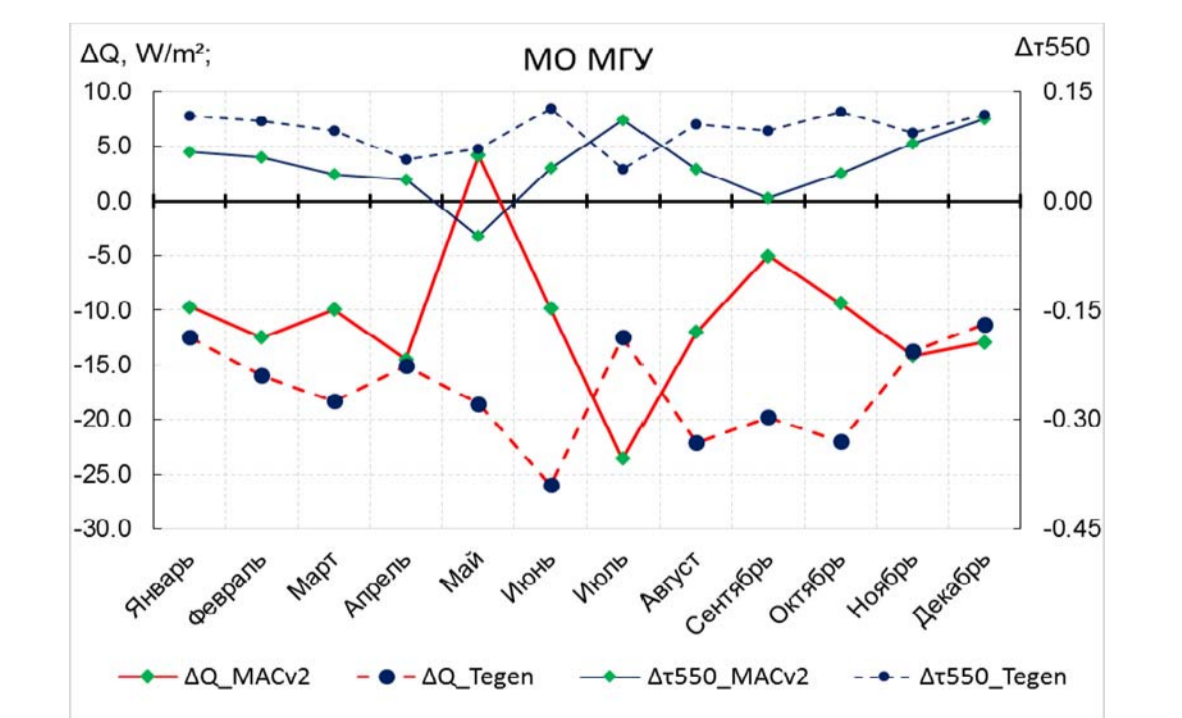
Распределение средних разностей суммарной радиации по интервалам ошибок прогноза количества облаков нижнего яруса (измерения минус расчеты)

Радиационные и температурные эффекты аэрозоля при безоблачном небе по данным численных экспериментов модели COSMO-Ru1 и измерениям

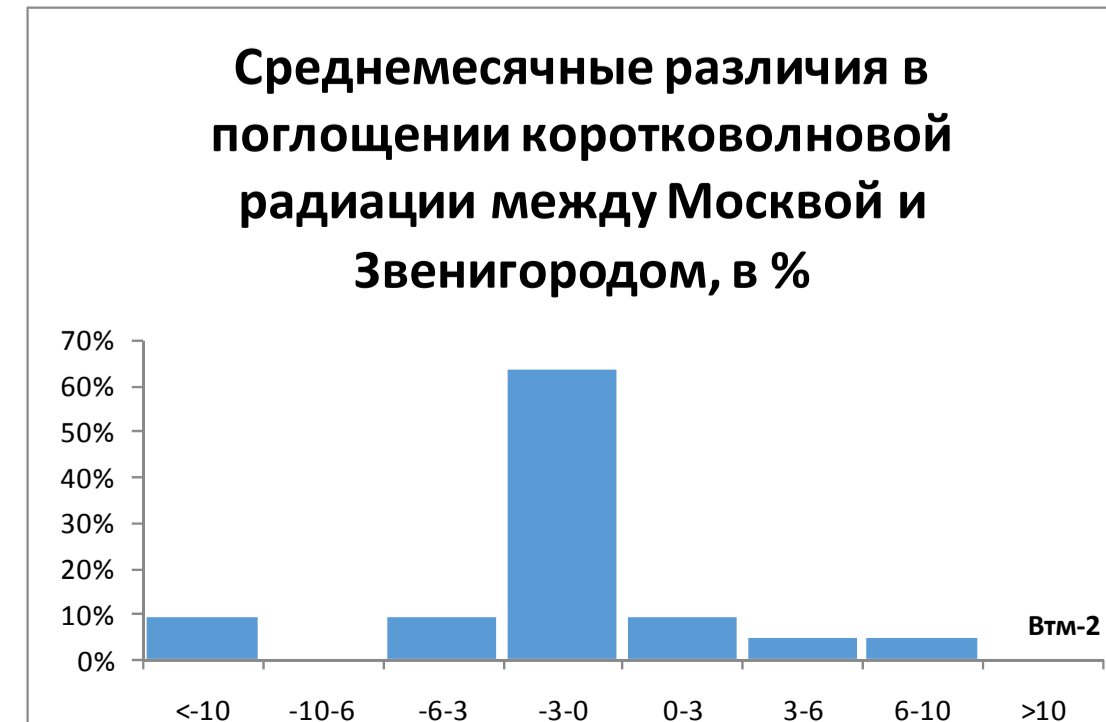
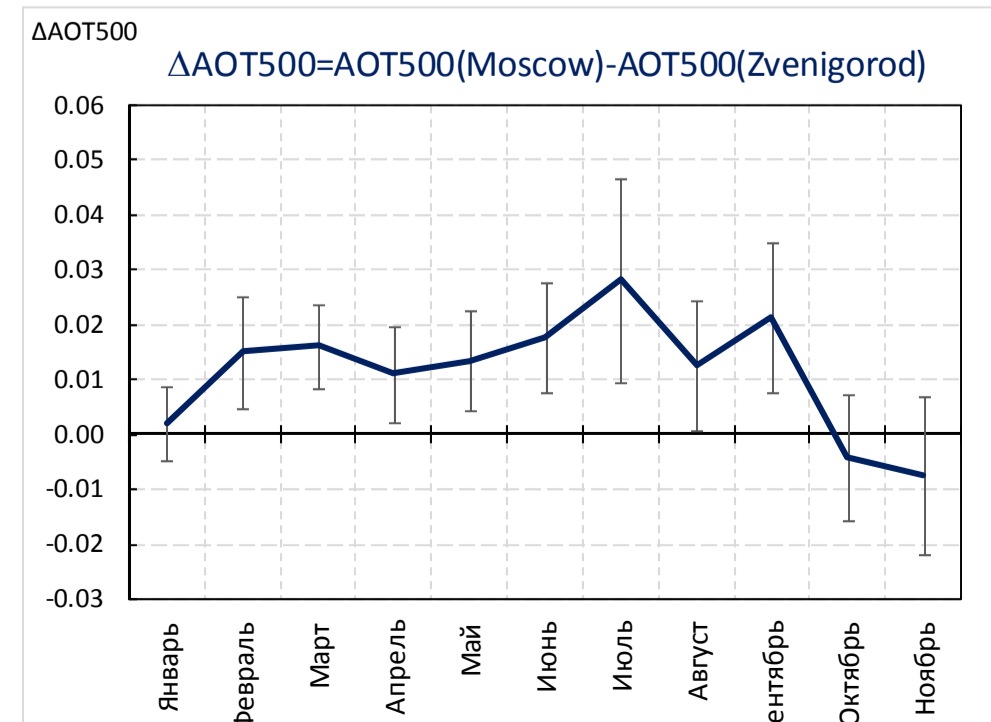
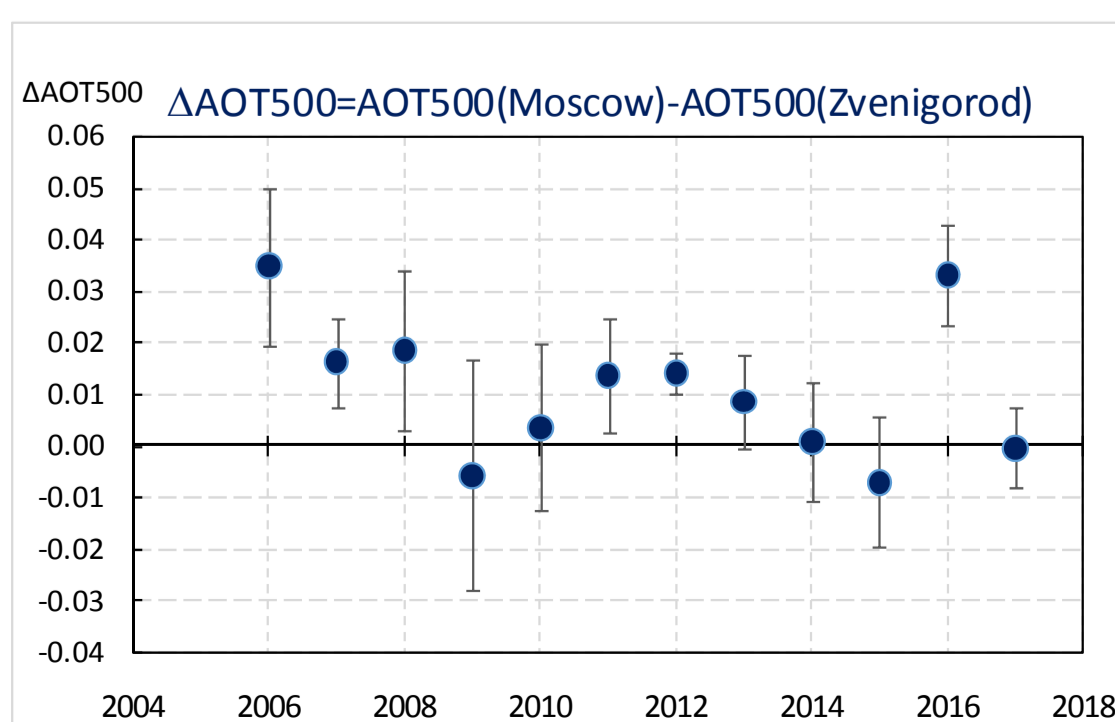
Погрешность суммарной радиации за счет использования разных аэрозольных климатологий

Чувствительность температуры воздуха на 2м к балансу коротковолновой радиации в модели COSMO-Ru1

$$\Delta Q = Q_{Tegen} (MACv2) - Q_{AERONET}$$



Многолетние вариации городского аэрозольного загрязнения по данным измерений в МО МГУ и на Звенигородской научной станции (ЗНС) ИФА РАН в рамках программы AERONET (версия 3, уровень 2). Оценки радиационных эффектов по модельным расчетам.



Существует тенденция к уменьшению различий в AOT. Сезонные различия уменьшаются в холодный период года. Различия в поглощении радиации в столбе атмосферы между Москвой и Звенигородом составляет -1.4 Вт/м² и могут достигать до -11-12 Вт/м² (главным образом, за счет более высокого альbedo поверхности весной на ЗНС)

Среднемесячные значения поглощенной, нисходящей (на НГА) и восходящей (на ВГА) радиации в Москве и Звенигороде и их различия. 2007-2017 гг. Версия 3. Уровень 2. Вм-2. Данные расчетов модели CLIRAD(FC05)-SW

	Поглощенная радиация в столбе атмосферы			Нисходящая радиация у поверхности Земли			Восходящая радиация на ВГА		
	МГУ	ЗНС	Δ	МГУ	ЗНС	Δ	МГУ	ЗНС	Δ
Январь	66.8	67.3	-0.5	205.1	204.8	0.3	129.7	132.7	-3.0
Апрель	175.0	177.9	-2.9	722.5	729.0	-6.4	164.7	203.6	-38.9
Июль	240.8	240.7	0.1	842.0	844.0	-1.9	183.2	192.0	-8.8
Октябрь	127.7	129.2	-1.5	408.2	407.1	1.2	106.9	116.2	-9.4