О многолетнем сотрудничестве ИФА и ГГО в области усвоения, обработки и анализа данных сетевых актинометрических наблюдений РФ

И.Н.Плахина, inna@ifaran.ru
И.А.Репина, repina@ifaran.ru
Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН

Исследование аэрозольных характеристик атмосферы над Азиатской территорией России по данным наземного и спутникового мониторинга

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

СПУТНИКОВЫЕ

Суточные значения аэрозольной оптической толщины атмосферы АОТ (Terra/MODIS: Moderate Resolution Imaging, *http://modis.gsfc.nasa.gov/*)

НАЗЕМНЫЕ;

Уссурийск (43.8; 131.95), Иркутск (52.3; 104.31), Екатеринбург (56.9; 60.61), Якутск (62.0;129.7)

Суточные значения аэрозольной оптической толщины атмосферы АОТ на сети AERONET (AEROSOL ROBOTIC

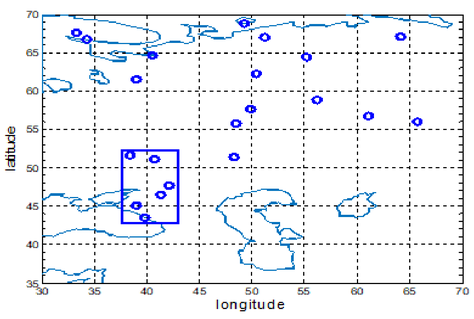
БАЗА ДАННЫХ (БД)

«Аэрозольная оптическая толщина атмосферы по спутниковым и наземным наблюдениям», 2018, Свидетельство о государственной регистрации №2018620215 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности. БД предназначена для выполнения работ по оценке и анализу временных изменений АОТ на территории РФ, оценки сопоставимости разных видов мониторинга АОТ и сформирована нами в рамках проекта РФФИ № 15-05-05803 «Исследование согласованности данных наземного и спутникового мониторинга прозрачности, аэрозольной оптической толщины атмосферы на территории России».

NETWORK). (*http://aeronet.gsfc.nasa.gov/*)

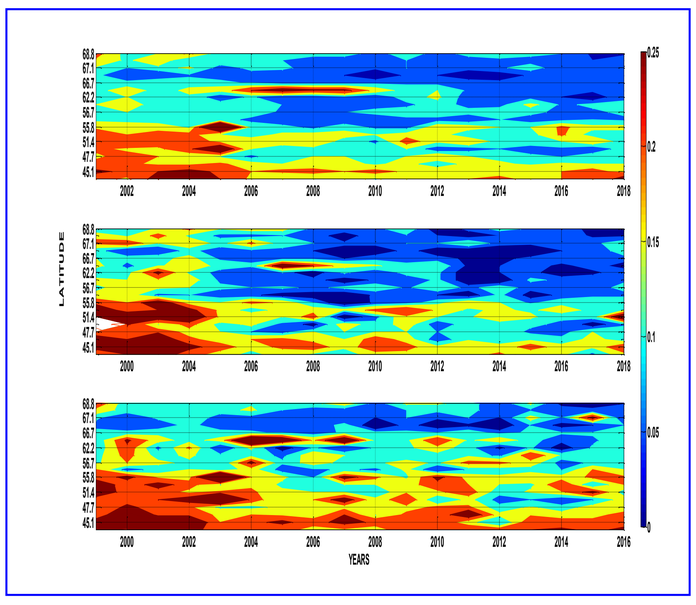
Методика расчёта АОТ (аэрозольной оптической толщины) атмосферы по прямой солнечной радиации у поверхности Земли представлена в *Плахина И. Н. и др.* Вариации аэрозоля в толще атмосферы по данным российской актинометрической сети (1976—2006 гг.) // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. Т. 45. № 4. С. 489-500

Оценки тенденций изменений межгодового и внутригодового хода аэрозольной компоненты атмосферы над западной частью РФ в "поствулканический" период (спутниковые и наземные наблюдения)



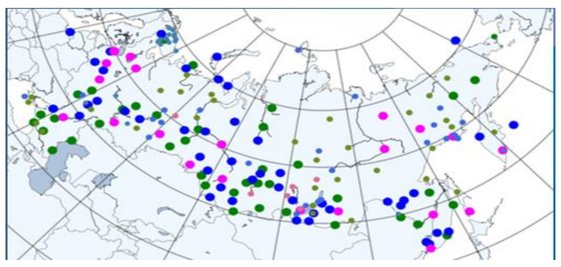
Сочи (43.5; 39.8), Краснодар (45.1; 39.0), Гигант (46.5; 41.3), Цимлянск (47.7; 42.1), Каменная степь (51.1; 40.7), Ершов (51.4; 48.3), Нижнедевицк (51.6; 38.4), Вязовые (55.8; 48.5), Памятная (56.0; 65.7), Дуброво (56.7; 61.1), Нолинск (57.6; 49.9), Усть Вымь (62.2; 50.4), Архангельск (64.6; 40.5), Умба (66.7; 34.3); Коткино (67.6; 51.2), Елецкая (67.1; 64.1), Апатиты (67.6; 33.3), Бугрино (68.8;49.3)

Пространственно-временные вариации годовых, апрельских и июльских (сверху вниз) АОТ на ЕТР; данные актинометрической наземной сети РФ; период наблюдений 1999-2016 г.г.



Средние величины АОТ и средние тенденции изменений АОТ на ЕТР (20 станций) по наземным измерениям (1999-2016 г.г.)

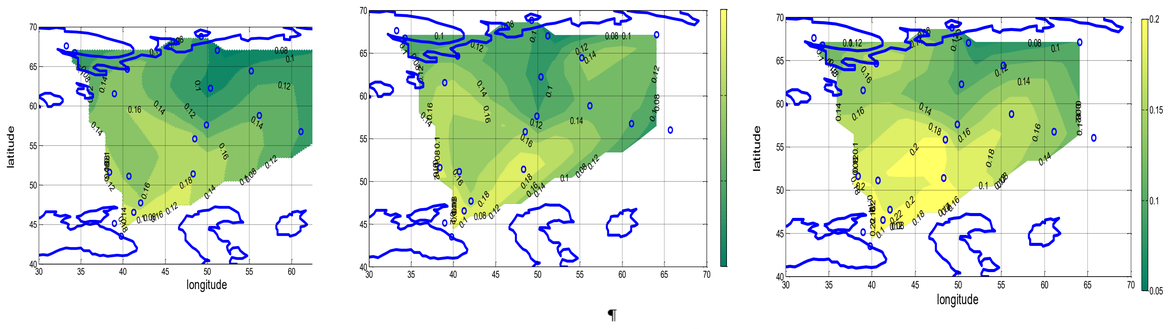
АОТ	Годовые величины	Апрельские значения	Июльские значения
АОТ (наземная сеть ГМС) диапазон вариаций, стандартное отклонение	0.13 (0.22-0.08); 0.04	0.13 (0.25-0.05); 0.04	0.16 (0.28-0.08); 0.05
Тренд, отнесённый к 10-тилетнему интервалу (наземная сеть ГМС)	-0.03 $R^2 = 0.50$	-0.07 $R^2 = 0.61$	-0.03 $R^2 = 0.50$
Тренд (% за год)	-3.6	-6.1	-2.0



Сеть пунктов актинометрических наблюдений РФ (цветом отмечены точки с разной степенью полноты измерений)

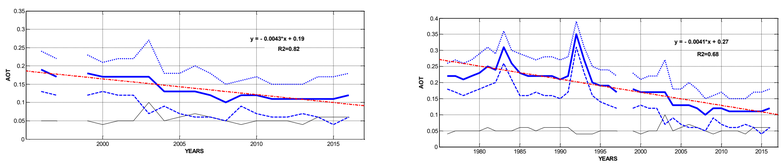
Актинометрические датчики

Пространственное распределение величины годовых, апрельских и июльских (сверху вниз) значений аэрозольной оптической толщины АОТ на ЕТР; данные актинометрической наземной сети РФ, период наблюдений 1999-2016 г.г.



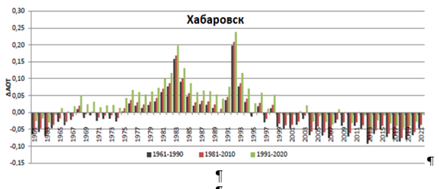
Многолетние тенденции изменений прозрачности атмосферы на разных временных интервалах и пространственных областях

ТРЕНДЫ ГОДОВЫХ АОТ НАД ЕТР:А) 1976- 2016 гг. Б) 1996 – 2016 гг.
Жирная линия – среднее по всем станциям ЕТР, пунктирная кривая – область ± *sigma*, красная кривая – линия тренда

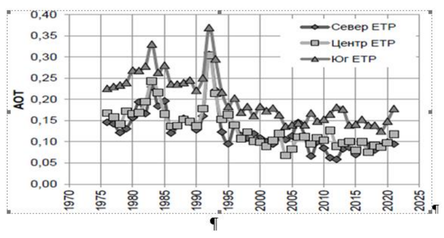


Изменения средних годовых значений T_2 и АОТ за 1961—1990гг.

Аномалии средних годовых значений АОТ для «длинных» рядов данных наблюдений (1955-2021 гг.)



Изменения АОТ на территории ЕТР в период 1976-2021 гг.



Работа выполнялась и выполняется в рамках Госзадания №125020501413-6 Исследование антропогенного воздействия на газовый и аэрозольный состав атмосферы на основе анализа данных многолетнего мониторинга атмосферы на сети наземных станций и с космических аппаратов

Многолетнее сотрудничество между научными группами Главной геофизической обсерватория им. А. И. Воейкова и Института физики атмосферы им. А. М. Обухова, выполнялось в рамках 4- х проектов РФФИ:

1) № 03-05-64441 “Закономерности региональной климатической изменчивости прозрачности атмосферы, приземной солнечной радиации и температуры воздуха: исследование проявлений глобального тренда, его аномалий и экстремальных эпизодов (по современным эмпирическим данным)” 2003-2005,

2) № 06-05-65293 “Статистическое моделирование дневного, сезонного и многолетнего хода прозрачности атмосферы с помощью вейвлет преобразования с использованием рядов сетевых актинометрических наблюдений” 2006-2008,

3) №10-05-01086 “Режим прозрачности над южными регионами РФ: глобальные, региональные и локальные факторы его формирования” 2010-2012,

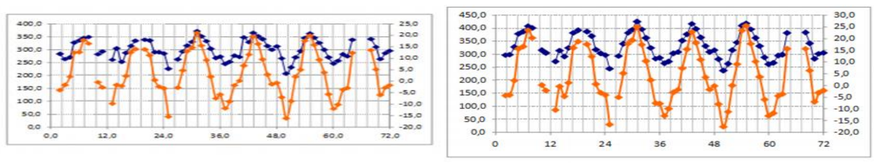
4) №15-05-05803 “Исследование согласованности данных наземного и спутникового мониторинга прозрачности и аэрозольной оптической толщины атмосферы и приходящей суммарной радиации на территории России”2015-2017.

Получены систематические пространственные и долговременных изменения годовых и сезонных величин АОТ (аэрозольных оптических толщин) и прозрачности атмосферы для территории РФ, особенности их вариаций по данным сетевых наземных актинометрических наблюдений и спутниковым данным (MODIS). Особое вниманию уделялось поствулканическому периоду и первым десятилетиям 21 века. Рассматривались наблюдения 2-х наземных сетей: международной AERONET и российской актинометрической сети РОСКОМГИДРОМЕТА, а также результаты спутникового сканирования MODIS. Сравнительный анализ аэрозольного ослабления по независимым системам наблюдений позволяет получать более обоснованными оценки временных трендов и пространственных изменений АОТ, но на практике анализ результатов, полученных независимыми системами, представляет собой сложную и неоднозначную задачу сравнения в отсутствии эталонированных данных и неустойчивости атмосферной среды.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛИННОВОЛНОВОЙ РАДИАЦИИ НАД ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

В результате проведенной в последние десятилетия модернизации наблюдательной сети в 15-ти пунктах наблюдений, оснащенных автоматизированными актинометрическими комплексами, с помощью пиргеометров CG4 (Kipp&Zonen) проводятся измерения длинноволновых составляющих радиационного баланса: энергетической освещенности, создаваемой собственным излучением поверхности земли (Eu) и энергетическая освещенности, создаваемой тепловым излучением атмосферы (Ed). Сбор данных и формирование архивов величин ДВР осуществляется в Главной геофизической обсерватории. Указанные архивы представляют собой ряды по станциям, содержащие месячные массивы часовых и суточных сумм длинноволновой радиации а также средних значений температуры почвы и приповерхностного воздуха, влагосодержания атмосферы. Объем накопленной информации еще недостаточен для климатологических обобщений, но позволяет оценить закономерности изменения суточных и месячных сумм Ed и Eu (МДж/м2), границы их колебаний в годовом и суточном ходе и экстремальные значения месячного и суточного разрешения, для отдельных пунктов наблюдений уже получены уравнения множественной регрессии, связывающие длинноволновую радиацию с температурой воздуха и температурой поверхности Земли, с облачностью и содержанием водяного пара в атмосфере. Предварительный анализ показал единообразие регрессионных коэффициентов для разных точек регистрации и значимую связь ДВР с температурой почвы и воздуха. Данные наблюдений за длинноволновой радиацией в дальнейшем могут быть использованы в качестве наземной платформы при валидации соответствующих дистанционных наблюдений. Работа выполнялась и выполняется в рамках Госзадания №125020501413-6 Исследование антропогенного воздействия на газовый и аэрозольный состав атмосферы на основе анализа данных многолетнего мониторинга атмосферы на сети наземных станций и с космических аппаратов.

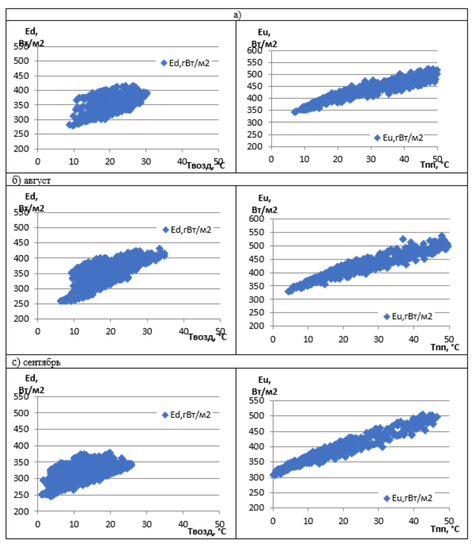
Нисходящая и восходящая ДВР) (левая ось, синий цвет), температура воздуха (почвы) (правая ось, красный цвет);



По данным натурных измерений потоков приходящей E_d и уходящей E_u длинноволновой радиации (Вт/м^2), температур приземного слоя воздуха ($t_в$), температур подстилающей поверхности ($t_п$) и среднемесячных величин степени покрытия небосвода облаками N (спутниковые данные) выполнены статистические оценки. Оценены значения средних, экстремальные величина, изменчивость средних. Кроме того, рассчитаны корреляционные связи приходящей E_d и уходящей E_u длинноволновой радиации с температурой воздуха и подстилающей поверхности и степенью покрытия неба облаками. Степень покрытия небосвода облаками скачивалась через специализированный сервер https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni , использовались месячные значения “cloud fraction from cloud mask”, TERRA/MODIS. Оценки представлены в Таблице для трех пунктов наблюдений, выбор которых на начальном этапе был обусловлен качеством рядов эмпирических данных.

Связь Ed и Eu (Вт/м^2) с температурой воздуха (Твозд.) и температурой подстилающей поверхности (Тпп)

Самара, 2019 г.
а — июль, б — август, в) — сентябрь



Параметр	Каргополь (61.5; 39.0) 2014–2019	Самара (53.2; 50.25) 2014–2019	Цимлянск (47.7; 42.1) 2014–2020
$E_d = f(t_в)$	Y = 3,68 x + 288 R^2= 0,88	Y = 3,48 x + 282 R^2= 0,94	Y = 3,19 x + 288 R^2= 0,89
$E_d = f(N)$	Y = –94,4 x + 371 R^2= 0,07	Y = –131,8 x +392 R^2= 0,23	Y = –115,0 x +392 R^2= 0,54
$E_u = f(t_п)$	y= 4,23 x + 316 R^2= 0,99	y= 4,20 x + 313 R^2= 0,99	y= 4,71 x + 311 R^2= 0,99
$E_{d\,ср.}$	300	304	322
$E_{d\,мин.}$	207	228	255
$E_{d\,макс.}$	372	377	397
ε_{Sd}, %	13	14	11
$E_{u\,ср.}$	333	349	379
$E_{u\,мин.}$	237	258	291
$E_{u\,макс.}$	425	454	476
ε_{Su}, %	15	18	16
$E_u - E_d$	33	45	57
$t_п - t_в$	0,9	2,3	3,5
N	0,75	0,70	0,61

Авторы посвящают презентацию незабвенной ЕЛЕНЕ ЛЮВОВНЕ МАХОТКИНОЙ. нашему соавтору, идеологу и коллеге, (Главная Гефизическая Обсерватории им. А.И. Воейкова)

Обобщение

1) Выполнен анализ вариаций сезонных и годовых значений АОТ в поствулканический период: 1999-2016 г.г.
2) Использованы наблюдения наземных сетей: российской актинометрической сети, а также данные спутникового сканирования АОТ -- Модис.
3) Сравнительный анализ аэрозольного ослабления по независимым системам наблюдений позволяет получать более обоснованными оценки временных трендов и пространственных изменений АОТ, но на практике анализ данных, полученных независимыми системами, представляет собой сложную и неоднозначную задачу сравнения в отсутствии эталонированных данных. Требуются дальнейшие оценки и анализ.
4) Представленные тенденции изменений АОТ (годовые величины, летние величины) и статистические оценки реальных эмпирических рядов показывают, что наблюдаются неплохие согласования между годовыми значениями АОТ (0-10%) , для месячных значений расхождение может достигать 20%,
5) Оценены тенденции многолетних изменений АОТ в последние 16 лет; они устойчиво отрицательны: происходит очищение атмосферы от аэрозоля. Отрицательные тенденции изменений АОТ совпадают с тенденциями, характерными для развитых стран , они обусловлены стабилизацией производств и технологиями очищений атмосферы от аэрозольных выбросов.
6) Средние величины АОТ при выборке в несколько сот точек оказались близки для наземных и спутниковых данных как по величине средних, так и по диапазону вариаций. Именно осреднения в несколько десятков лет требуются для параметризации моделей и валидации результатов в региональных климатических схемах.
7) Для отдельных пунктов наблюдений проанализирована и оценена связь длинноволновой радиации (ДВР) с температурой воздуха и подстилающей поверхности, количеством облаков и приземным влагосодержанием водяного пара. В том числе и их пространственные изменения. Оценки показывают выраженную связь потоков ДВР и температуры, а также единообразие этих связей в разных точках измерений.