



Санкт-Петербургский
государственный
университет
Научный парк

Оценка и коррекция коэффициента поглощения света частицами, полученного с помощью аэталометра АЕ-33 в ходе натурных измерений на фоновой станции ZOTTO

**Е.Ю.Небосько, С.С.Власенко, Е.Ф.Михайлов,
В.М. Ивахов**

Актуальность

- Многоволновой аэталометр AE-33 (Magee Scientific, Словения) является одним из наиболее широко используемых приборов в международных сетях мониторинга для наземных измерений поглощающих свойств атмосферных аэрозольных частиц
- Поправочный коэффициент многократного рассеяния является параметром, обладающим как наибольшей неопределенностью, так и наибольшим влиянием на коэффициенты поглощения, полученные на основе измерений AE-33
- Целью работы является оценка поправочного коэффициента на основе совместных измерений аэталометра AE-33, одноволнового (574 нм) фотометра сажи PSAP (Particle/Soot Absorption Photometer, Radiance Research, США) и трехволнового интегрирующего нефелометра (TSI 3563, США)

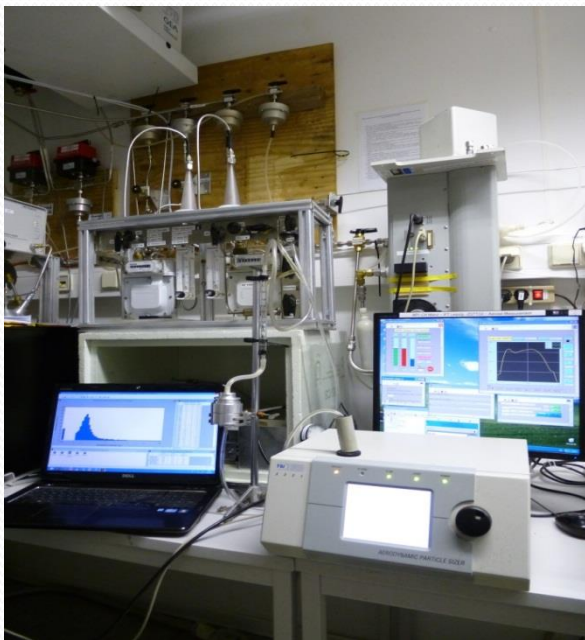
Место проведения измерений

- Международная станция высотной мачты ZOTTO (Zotino Tall Tower Observatory)

Станция создана в 2006 году в центральной Сибири (60.80° с.ш., 89.35° в.д.) с целью долгосрочного мониторинга состава атмосферы и анализа состояния лесных экосистем зоны бореальных лесов. На станции установлена мачта высотой 300 м, что позволяет исследовать относительно однородную часть атмосферы с большой площадью охвата ($\sim 10^6$ км²). Удаленность станции от локальных источников антропогенных загрязнений создает уникальные условия для изучения различных свойств фоновых аэрозолей бореальных лесов, одновременно она позволяет фиксировать дальний перенос аэрозольных эмиссий от пожаров и крупных городов.



Оборудование



Интегрирующий нефелометр TSI 3563 (шесть оптических параметров):

σ_{sca} объемный коэффициент полного рассеяния

σ_{bs} коэффициент обратного рассеяния (90° до 170°)

длины волн 450, 550, 700 нм.



Фотометр сажи PSAP (Particle/Soot Absorption Photometer)

σ_{abs} коэффициент поглощения
длина волны 574 нм



Аэталометр AE-33

Оптическое поглощение на 7 длинах волн (370, 470, 520, 590, 660, 880, 950 нм)

Вычисления σ_{abs}

- $Tr = \frac{I_t}{I_0}$, $ATN = -\ln(Tr) * 100\%$, I – интенсивность света

$$\sigma_0 = \frac{A}{Q} * \frac{\Delta ATN}{\Delta t}, A \text{ – площадь пятна, } Q \text{ – скорость потока}$$

- $\sigma_{abs}(PSAP) = (k_0 + k_1(h_0 + h_1\omega_0) * \frac{ATN}{100\%}) \sigma_0 - m \sigma_{sca}$, [Virkkula et al. 2005]
 ω_0 – альбеда однократного рассеяния

$$k_0 = 0.354 \pm 0.009, k_1 = -0.617 \pm 0.016, k_0 = 1.192 \pm 0.219, \\ k_1 = -0.800 \pm 0.336, m = 0.023 (0.017 \text{ } 0.031)$$

- $\sigma_{abs}(AE) = \frac{\sigma_0}{C_{ref} * R(ATN)}$, [Drinovec et al. 2015]

$$C_{ref} = 1.39, R(ATN) = 1 - k * ATN, k \text{ – Dual Spot Algorithm}$$

Особенности измерений

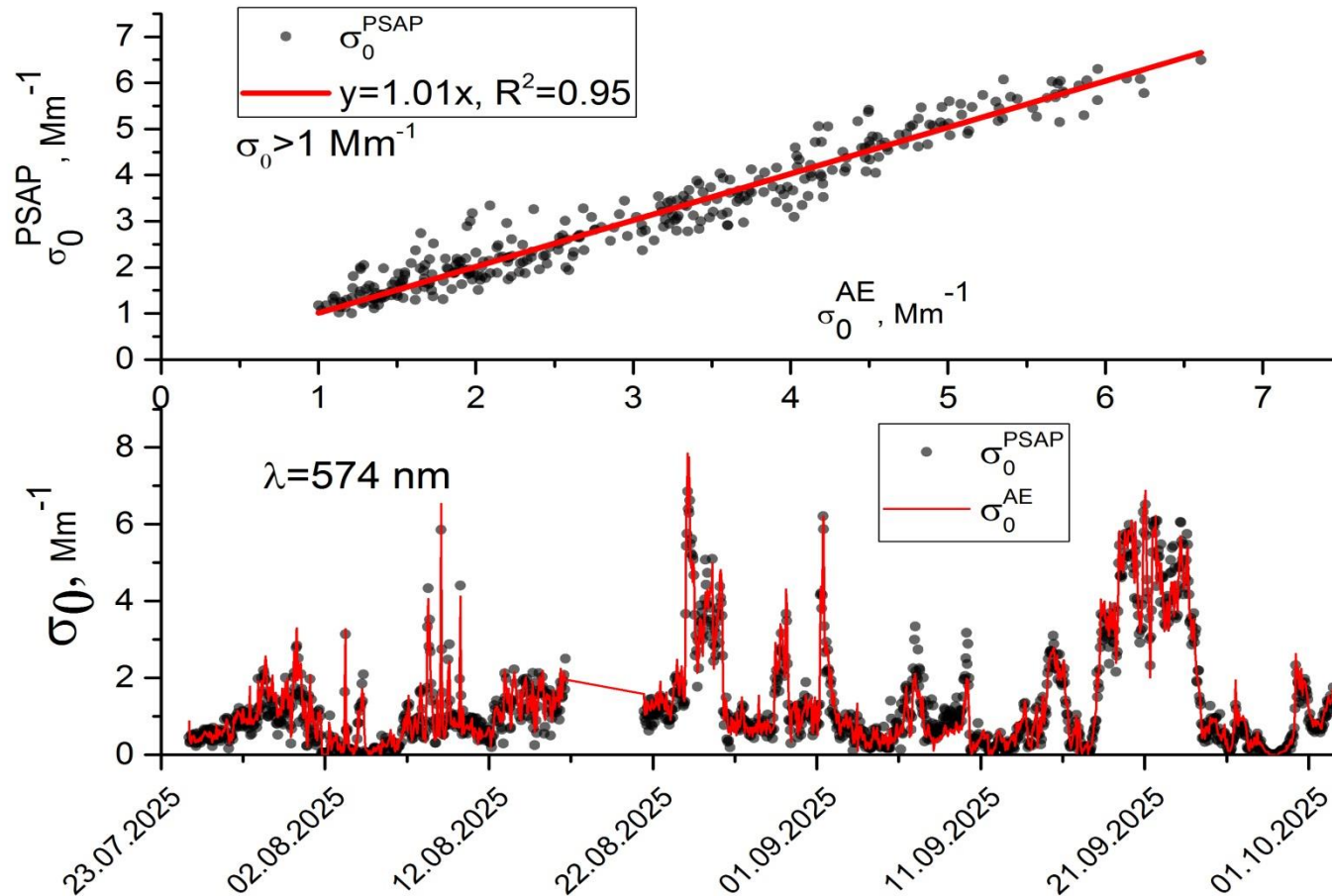
- Измерения проводились 25.07.2025 по 02.10.2025 г.
- Низкие значения коэффициента поглощения, отсутствие влияния лесных пожаров
- Отрицательные значения $\Rightarrow$ Optimized Noise reduction Averaging (ONA) algorithm [Hagler et al. 2011]
- Отрицательные и нулевые значения параметра компенсации $k \Rightarrow$ [Collaud Coen et al. 2010] algorithm:

$$R^{Col}(ATN) = \left[\frac{1}{f(1-\omega_0)+1} - 1 \right] * \frac{ATN}{50\%} + 1,$$

$f=0.74$, ω_0 – альбеда однократного рассеяния

[Ferrero et al. 2024] $\Rightarrow R^{Col}(ATN) \approx R^{Dsp}(ATN)$

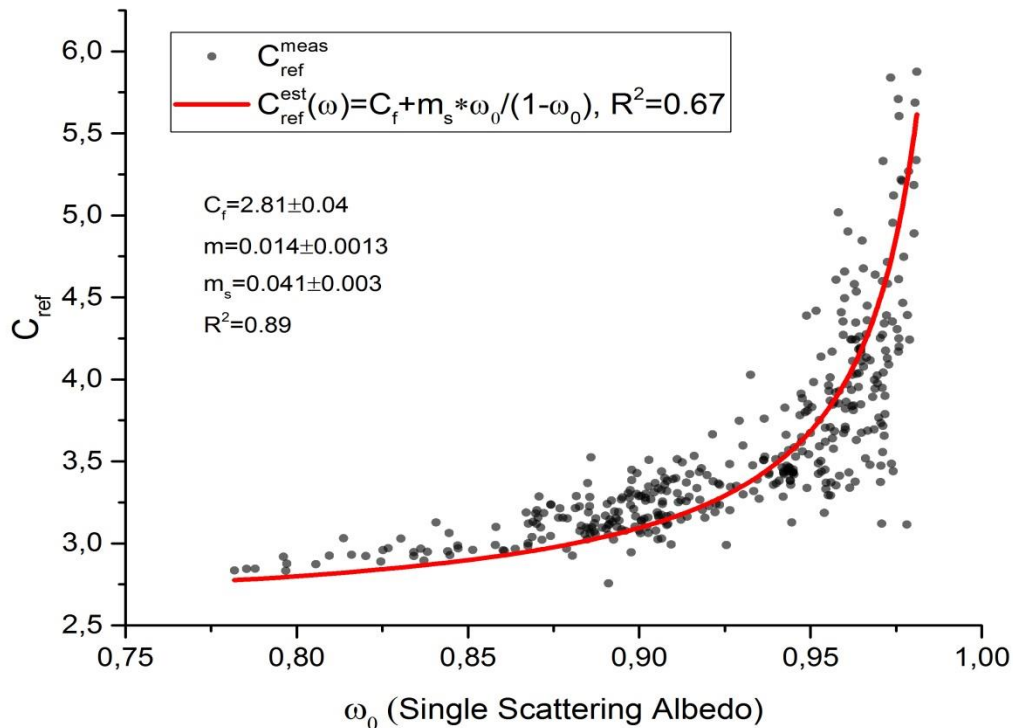
Ход σ_0 и корреляция



Параметризация C_{ref}

$$\sigma_{atn} = \frac{\sigma_0}{R(ATN)}, C_{ref} = \frac{\sigma_{atn}}{\sigma_{abs}}, \sigma_{abs} = \frac{\sigma_{atn} - m_s \sigma_{sca}}{C_f} = \frac{\sigma_{atn}}{C_f} - m \sigma_{sca},$$

$C_{ref} = C_f + m_s * \frac{\omega_0}{1 - \omega_0}$, C_f – параметр фильтра, m_s – перекрестная чувствительность
[Yus-Díez et al. 2021]



[Arnott et al. 2005]

$$\sigma_{atn,white} = c * (\sigma_{sca})^d,$$

$c = 0.797, d = 0.564;$

$$m_s^{Arn}(\lambda) = 1.472e^{-5} * \lambda^{1.307}$$

$$m_s^{Arn}(574) = 0.061$$

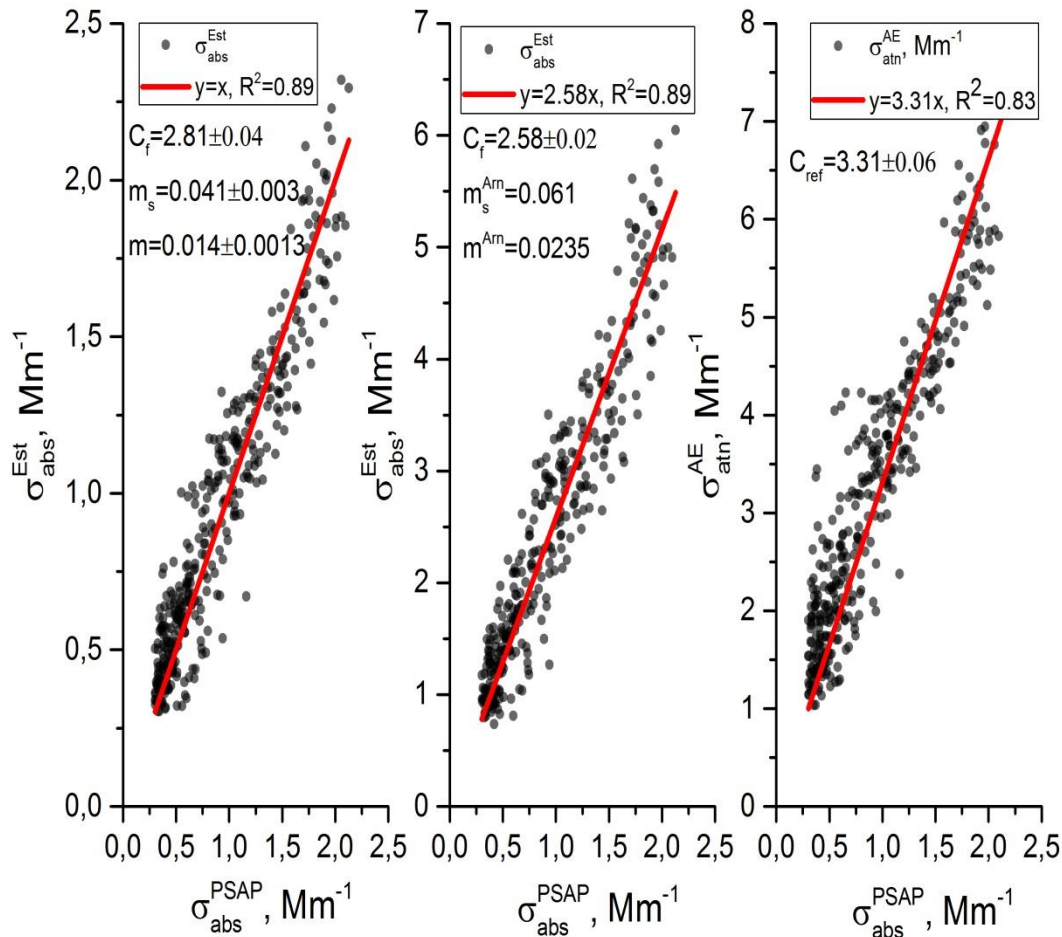
$$C_f^{Arn} = 2.58 \pm 0.02, R^2 = 0.89,$$

$$m^{Arn} = 0.0235,$$

$$m^{PSAP} = 0.023$$

$$C_{ref} = 3.31 \pm 0.06, R^2 = 0.83$$

Регрессионные оценки



[Yus-Díez et al. 2021]
PP_UniMI polar
photometer

Barcelona (urban):
 $C_f=2.50\pm0.02$
 $m_s=0.016\pm0.003$

Montseny (regional)
 $C_f=1.96\pm0.01$
 $m_s=0.030\pm0.001$

Montsec d'Ares
(mountaintop)
 $C_f=1.82\pm0.02$
 $m_s=0.049\pm0.001$

C_{ref} для пригорода Санкт-Петербурга

- Измерения проводились в пригороде Санкт-Петербурга (Петродворец 59°52'С. 29°49' В) 03.06.2023 по 05.06.2025 г.

- $R^{Col}(ATN) \approx R^{Dsp}(ATN), y = 1.00 \cdot x, R^2 = 0.987, \lambda = 574 \text{ nm}$

- $\sigma_{abs} = \frac{\sigma_{atn} - m_s^{Arn} \sigma_{sca}}{C_f^{Arn}}, C_f^{Arn} = 2.58, m_s^{Arn}(574) = 0.061$

$$C_{ref} = 2.79 \pm 0.005, R^2 = 0.994$$

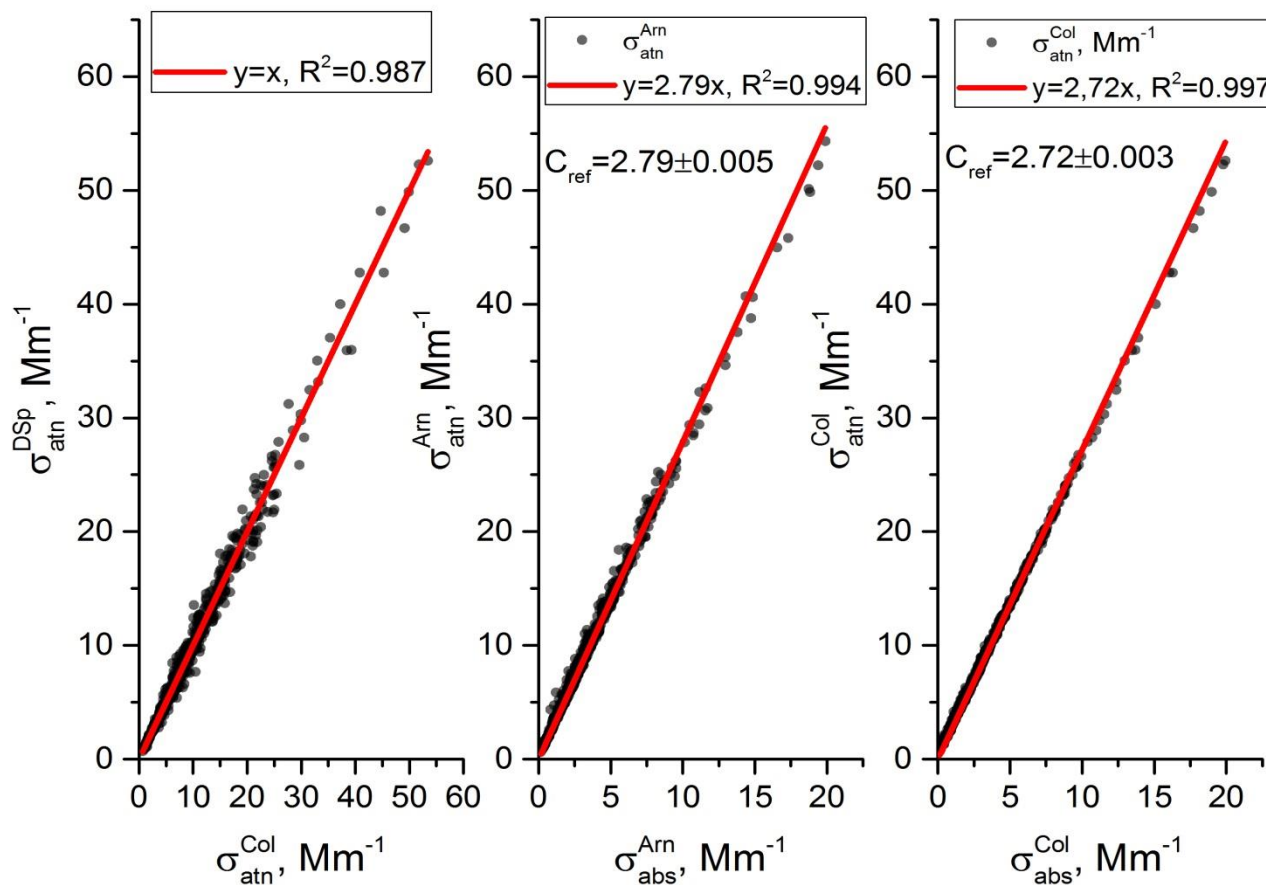
- [Collaud Coen et al. 2010]

$$\sigma_{abs} = \frac{\sigma_0 - m_s^{Col}(\overline{\sigma_{sca}}) * \overline{\sigma_{sca}}}{C_f^{Arn} * R^{Dsp}(ATN)}, C_f^{Arn} = 2.58, \overline{\sigma_{sca}} - \text{среднее по пятну}$$

$$m_s^{Col}(\overline{\sigma_{sca}}) = c_1 * \overline{\sigma_{sca}}^{d-1}, d = 0.564, c_1 = 0.797 * 10^{-6d}, \overline{\sigma_{sca}} [\text{m}^{-1}]$$

$$C_{ref} = 2.72 \pm 0.003, R^2 = 0.997$$

C_{ref} корреляция



C_{ref} таблица

Reference	Site	Instruments	C_{ref}
Yus-Díez et al. 2021	Montseny, Spain	PP_UniMI polar photometer, AE-33	2.13
Yus-Díez et al. 2021	Montsec d'Ares , Spain	PP_UniMI polar photometer, AE-33	2.05
Ferrero et al. 2024	Milan	MAAP, AE-33	2.50
Bernardoni et al. 2020	Milan	PP_UniMI polar photometer, AE-33	2.78 – 2.93
Valentini et al. 2020	Rome	MAAP, AE-33	2.66
Zhao et al. 2020	NE China	PASS-3, AE-33	2.90
This Report	ZOTTO	PSAP, TSI3563 AE-33	3.31
This Report	Peterhof	TSI3563, AE-33	2.72

Выводы

- На основе совместных измерений аэталометра АЕ-33, фотометра сажи PSAP и интегрирующего нефелометра (TSI 3563, США), проведенных на фоновой станции высотной мачты ZOTTO, была получена оценка поправочного коэффициента многократного рассеяния $C_{ref}=3.31\pm0.06$
- Получена оценка C_f — параметра многократного рассеяния, зависящего исключительно от свойств фильтра. $C_f=2.58\pm0.02$
- Для измерений в пригороде Санкт-Петербурга была получена соответствующая оценка $C_{ref}=2.72\pm0.003$. Близкие значения ($C_{ref}=2.50-2.93$) встречаются в работах, где измерения проводились в городах Италии

Благодарности

- Работа выполнена при поддержке НИР СПбГУ № 124032000029 – 9, гранта БРИКС по договору от 09.10.2024 № 075-15-2024-661
- Для измерений использовалось оборудование РЦ «Геомодель» Научного парка СПбГУ, Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, Института леса РАН им. В.Н. Сукачева
- Коллектив авторов выражает благодарность сотрудникам Института Леса им. В.Н. Сукачева: Цуканову А.А., Титову С.В., Панову А.В., Арясову В.Е. Путилину И.Р.

Спасибо за внимание!

