

Д.М. Кабанов¹, С.М. Сакерин¹, В.И. Козлович²

О влиянии типа воздушных масс на аэрозольную оптическую толщину атмосферы Северной Атлантики

¹Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск²Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Атлантическое отделение, г. Калининград

Поступила в редакцию 23.01.2007 г.

На основе данных, полученных в ходе двух морских экспедиций на борту НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 1995 и 1996 гг. в Атлантическом океане, рассматриваются особенности аэрозольного замутнения атмосферы в условиях разных типов воздушных масс (экваториальная, морская тропическая, умеренная морская и континентальная). Отмечается, что отличия спектральных аэрозольных оптических толщ атмосфер в разных воздушных массах статистически значимы. Показано, что аэрозольное замутнение атмосферы в воздушных массах морского происхождения в значительной степени определяется влиянием относительной влажности воздуха и скорости ветра.

Введение

Известно, что вариабельность аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы над океаном определяется, главным образом, пространственными неоднородностями [1] и синоптическими колебаниями из-за смены воздушных масс [2, 3]. Влияние воздушных масс на АОТ морской атмосферы рассматривалось ранее в работах: [4] (Северная Атлантика), [5] (Северное море и северо-восточная часть Атлантики), [6] (северо-восточная часть Атлантики, Балтийское море, Тихий океан). Однако перечисленные исследования проводились для достаточно коротких рядов наблюдений, включающих смену от двух до трех воздушных масс над районом исследований.

Данная статья посвящена выявлению отличий в аэрозольном замутнении атмосферы Северной Атлантики для разных воздушных масс на основе экспериментальных данных, полученных в ходе двух Атлантических экспедиций на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (январь–апрель 1995 г., 35-й рейс [7] и август–сентябрь 1996 г., 39-й рейс [3]). Измерения АОТ атмосферы проводились в диапазоне спектра 0,37–1,06 мкм. Определение типов воздушных масс и их траектории осуществлялось по приземным картам и картам барической топографии. Измерения, проведенные в зоне выносов пылевого аэрозоля из Сахары, из анализа были исключены. В результате были сформированы выборки, относящиеся к следующим типам воздушных масс: тропическая морская (МТВ), умеренная морская (МУВ) и континентальная (КУВ). Кроме того, для сопоставления были привлечены измерения, полученные в экваториальной части Атлантики (ЭВ). Общий объем данных составил 413 усредненных за 1 ч спектров АОТ, накопленных в течение 62 дней измерений.

Обсуждение результатов

Рассмотрим средние спектральные зависимости аэрозольной оптической толщи $\tau^A(\lambda)$ для разных воздушных масс, выделенные из общего объема данных (рис. 1). Видно, что основные различия наблюдаются в коротковолновой части спектра и обусловлены разным вкладом мелкодисперсного аэрозоля.

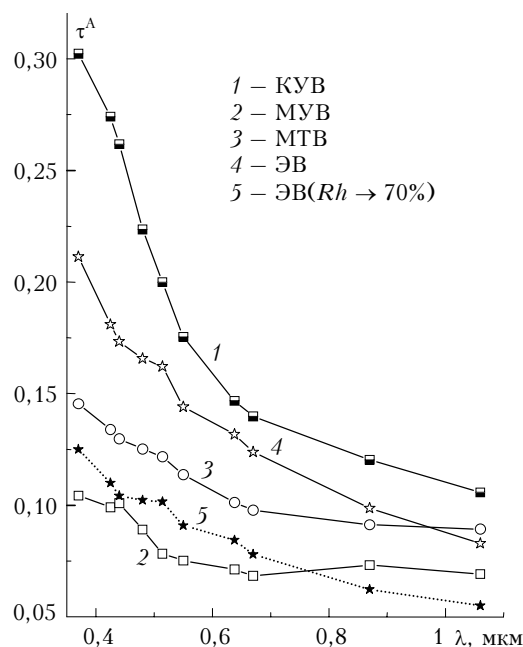


Рис. 1. Средние спектральные зависимости АОТ атмосферы в разных воздушных массах

Наиболее селективный спектральный ход АОТ соответствует КУВ и обусловлен влиянием

мелкодисперсного аэрозоля континентального происхождения (Европа, Северная Америка). Три других спектра относятся к морским воздушным массам (экваториальной, тропической и умеренной). Среди них спектральные различия определяются, по-видимому, конденсационным механизмом — ростом мелких солевых частиц под действием относительной влажности воздуха. Известно, что коэффициент рассеяния аэрозольных частиц морского происхождения не изменяется при значениях относительной влажности воздуха $Rh \leq 75\%$, а при больших значениях растет с увеличением Rh [8]. Причем более активный конденсационный рост наблюдается у мелких частиц, что приводит к увеличению селективности спектрального хода аэрозольного рассеяния с ростом относительной влажности. Подобные зависимости были получены и для аэрозольной оптической толщи морской атмосферы [2].

Наиболее высокое среднее значение относительной влажности воздуха ($\bar{R}h = (79 \pm 5)\%$) и, как следствие, более высокая селективность спектрального хода АОТ соответствуют экваториальному воздуху. МУВ соответствуют низкая относительная влажность ($\bar{R}h = (67 \pm 8)\%$) и близкая к нейтральной спектральная зависимость. В МТВ ($\bar{R}h = (71 \pm 5)\%$) спектральный ход АОТ занимает промежуточное положение. Заметим, что в КУВ средняя относительная влажность составляла небольшую величину — $((71 \pm 9)\%)$. Это подтверждает, что отмеченная ранее высокая селективность спектрального хода АОТ обусловлена именно выносом мелкодисперсного континентального аэрозоля.

Тот факт, что АОТ атмосферы в воздушных массах, образовавшихся над морской поверхностью, в значительной степени определяется именно относительной влажностью воздуха [2, 6], можно проиллюстрировать, если привести значения τ_λ^A , полученные в ЭВ, к величинам, соответствующим относительной влажности $Rh < 75\%$, воспользовавшись зависимостью $\tau_\lambda^A(Rh)$ из [2]:

$$\tau_\lambda(Rh) = a_\lambda + b_\lambda Rh, \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} a_\lambda &= -0,521 - 4,68 \exp(-3,89\lambda); \\ b_\lambda &= 0,00747 + 0,0633 \exp(-3,72\lambda). \end{aligned}$$

Как видно из рис. 1, спектральные зависимости $\tau^A(\lambda)$ для ЭВ при $Rh < 75\%$ и МУВ достаточно близки друг к другу. Это подтверждает, что основные различия аэрозольного замутнения атмосферы в морском умеренном и экваториальном воздухе определяются относительной влажностью воздуха.

Для количественного сопоставления спектральных АОТ атмосферы в разных воздушных массах нами, как и авторами [6], были выбраны две характеристики: $\tau_{0,55}^A$ и параметр α формулы Ангстрема:

$$\tau^A(\lambda) = \beta \lambda^{-\alpha}. \quad (2)$$

Параметр Ангстрема α характеризует селективность спектрального хода АОТ, а $\beta \approx \tau^A(1 \text{ мкм})$. Проведенные оценки показали, что расхождения между выборками, относящимися к разным воздушным массам, статистически значимы с доверительной вероятностью $p \geq 0,95$ хотя бы по одной из характеристик.

Заметим, что по средним значениям $\tau_{0,55}^A$ и α обнаруживается достаточно хорошее согласие наших данных с результатами наиболее полных исследований [6], выполненных на сегодняшний день. Для МУВ значения $\tau_{0,55}^A$ и α близки к данным, полученным в Тихом океане (рис. 2), для КУВ — занимают промежуточное положение между данными для северо-восточной части Атлантики и Тихого океана. Причем во всех случаях переход от МУВ к КУВ сопровождается ростом как $\tau_{0,55}^A$, так и α . Отличие в данных для МТВ можно объяснить разным вкладом морского аэрозоля, образовавшегося под действием ветрового фактора. При измерениях в Тихом океане скорость ветра в МТВ была выше, чем в МУВ (7 и 4 м/с соответственно).

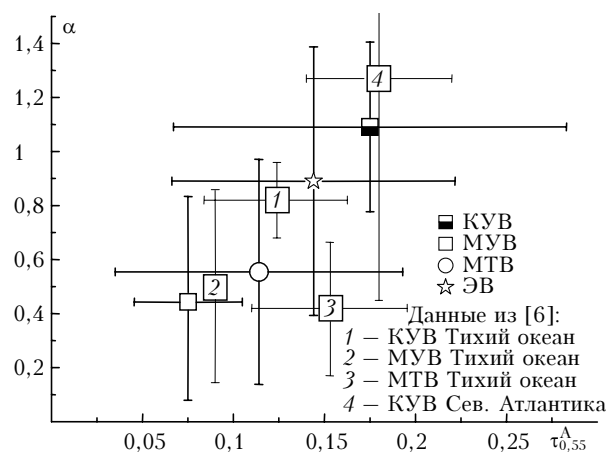


Рис. 2. Изменчивость $\tau_{0,55}^A$ и α

Чтобы продемонстрировать, что «ветровой» аэрозоль может вносить заметный вклад в прозрачность морской атмосферы и тем самым вуалировать различие между воздушными массами, рассмотрим две выборки данных, относящиеся к открытому океану в умеренных широтах. На рис. 3 представлены спектральные зависимости АОТ для двух типов морских воздушных масс: умеренной и тропической. По средним значениям величин $\tau_{0,55}^A$ и α различия между выборками оказались не значимы ($p = 0,95$). В то же время АОТ атмосферы в условиях МУВ оказалась выше, чем для МТВ, что не согласуется с результатами, представленными выше (см. рис. 1). Анализ метеорологических параметров показал, что по средним значениям относительной влажности воздуха эти выборки практически совпадают ($\bar{R}h = (72 \pm 3)\%$ для МУВ и $\bar{R}h = (72 \pm 5)\%$ для МТВ), но различаются по

скорости ветра ($\bar{S}_w = (8 \pm 2)$ м/с для МУВ и $\bar{S}_w = (4 \pm 2)$ м/с для МТВ).

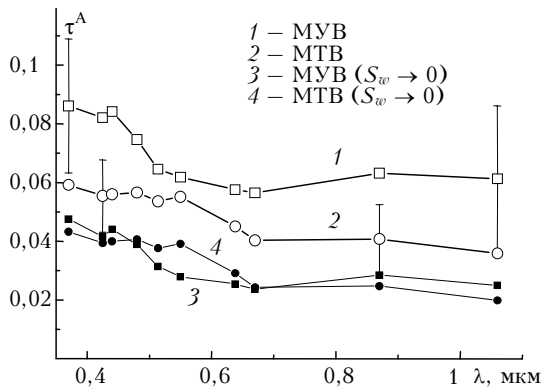


Рис. 3. Средние и приведенные к $S_w = 0$ спектральные зависимости AOT в открытом океане умеренных широт в условиях МУВ и МТВ

Для проверки того, насколько отмеченные отличия в AOT атмосферы определяются влиянием скорости ветра, измеренные значения τ_λ^A были преобразованы к величинам, соответствующим $S_w = 0$. С этой целью зависимость $\beta(S_w)$, представленная в работе [2], была аппроксимирована следующим полиномом:

$$\beta(S_w) = \sum_{i=0}^4 A_i S_w^i, \quad (3)$$

где

$$A_0 = 0,01023; \quad A_1 = 0,01299; \quad A_2 = 0,00389;$$

$$A_3 = 3,70112 \cdot 10^{-4}; \quad A_4 = 8,55949 \cdot 10^{-6}.$$

Отметим, что под влиянием ветрового фактора наиболее эффективно идет генерация крупных частиц морского аэрозоля, которым соответствует спектральная зависимость $\tau_\lambda^A(\lambda)$, близкая к нейтральной. Поэтому процедура приведения τ_λ^A к величине при $S_w = 0$ заключалась в исключении постоянной «ветровой добавки» β , рассчитанной для значения S_w в период измерений. Из рис. 3 видно, что приведенные к $S_w = 0$ спектральные зависимости $\tau_\lambda^A(\lambda)$ практически совпадают, т.е. в данном случае различие $\bar{\tau}_\lambda^A(\lambda)$ в тропической и умеренной воздушных массах связано с влиянием именно скорости ветра.

С учетом роли относительной влажности и скорости ветра в формировании прозрачности атмосферы в морских воздушных массах (ЭВ, МУВ и МТВ) дополнительно была рассмотрена возможность оценки τ_λ^A по значениям S_w и Rh . С этой целью для среднечасовых значений S_w и Rh по соотношениям (1) и (3) были рассчитаны соответствующие им значения AOT и сопоставлены с измеренными величинами. Из результатов, представленных на рис. 4, видно, что совпадение рассчитанных и измеренных значений AOT соответствует

нижней границе «облака» точек. Наибольший вклад других факторов, влияющих на формирование аэрозольного замутнения морской атмосферы, наблюдается для малых значений Rh и S_w (малые величины рассчитанных AOT). С ростом Rh и S_w расхождения между рассчитанными и измеренными значениями сокращаются.

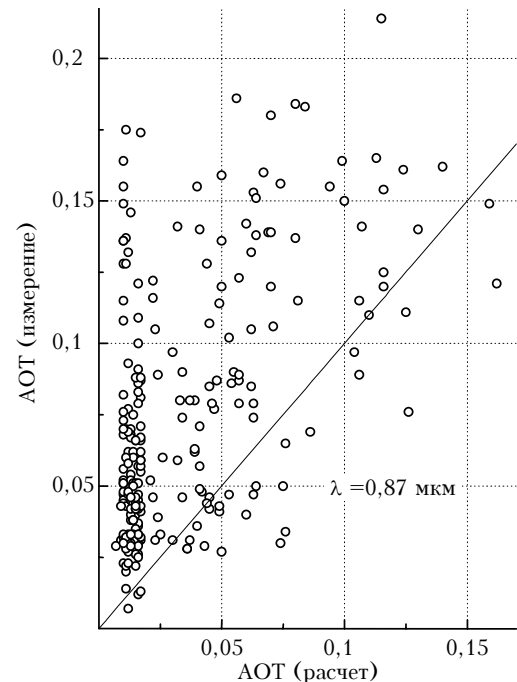
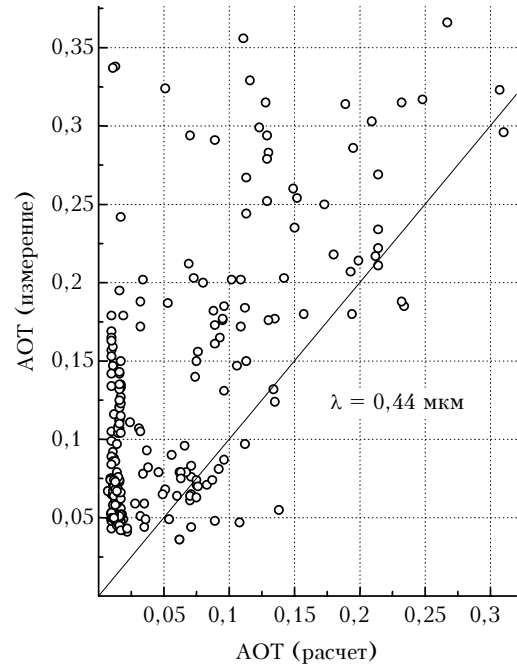


Рис. 4. Сопоставление рассчитанных и измеренных значений AOT атмосферы

Выводы

Основные различия AOT атмосферы в разных воздушных массах наблюдаются в коротковолновой

части спектра, что отражается на селективности спектрального хода:

КУВ ($\tau_{0,55}^A = 0,175 \pm 0,108$; $\alpha = 1,09 \pm 0,31$),

ЭВ ($\tau_{0,55}^A = 0,144 \pm 0,078$; $\alpha = 0,89 \pm 0,50$),

МТВ ($\tau_{0,55}^A = 0,114 \pm 0,079$; $\alpha = 0,55 \pm 0,42$),

МУВ ($\tau_{0,55}^A = 0,075 \pm 0,030$; $\alpha = 0,49 \pm 0,36$).

Отличия выборок для разных воздушных масс статистически значимы с доверительной вероятностью не менее 0,95 хотя бы по одному из параметров: $\tau_{0,55}^A$ или α .

В морских воздушных массах различия спектральной АОТ атмосферы в значительной степени определяются влиянием относительной влажности воздуха, свойственной каждому типу воздушной массы. В то же время эти различия могут вуалироваться из-за морского аэрозоля, образовавшегося под воздействием ветрового фактора.

Работа выполнена при финансовой поддержке ПФИ Президиума РАН «Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология».

1. *Sakerin S.M., Kabanov D.M.* Spatial Inhomogeneities and Spectral Behavior of Atmospheric Aerosol Optical

Depth over Atlantic Ocean // *J. Atmos. Sci.* 2002. V. 59. N 3. Pt. 1. P. 484–500.

2. *Кабанов Д.М., Сакерин С.М.* Прозрачность атмосферы над Атлантическим океаном // *Оптика атмосф. и океана.* 2000. Т. 13. № 8. С. 709–722.
3. *Кабанов Д.М., Сакерин С.М.* Результаты исследований аэрозольной оптической толщи и влагосодержания атмосферы Центральной Атлантики // *Оптика атмосф. и океана.* 1997. Т. 10. № 12. С. 1461–1468.
4. *Von Hoyningen-Huene W., Raabe A.* Maritime and Continental Air Mass Differences in Optical Aerosol Extinction Data // *Beitr. Phys. Atmos.* 1987. V. 60. N 1. P. 81–87.
5. *Reddy P.J., Kreiner F.W., Deluisi J.J., Kim Y.* Aerosol Optical Depths the Atlantic Derived from Shipboard Sunphotometer Observations During the 1988 Global Change Expedition // *Global Biogeochem. Cycles.* 1990. V. 4. N 3. P. 225–240.
6. *Smirnov A., Villevalde Y., O'Neill N.T., Tarussov A.* Aerosol optical depth over the oceans: Analysis in terms of synoptic air mass types // *J. Geophys. Res. D.* 1995. V. 100. N 8. P. 16,639–16,650.
7. *Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Польшин В.В.* Атмосферно-оптические исследования в 35-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» // *Оптика атмосф. и океана.* 1995. Т. 8. № 12. С. 1767–1777.
8. *Кабанов М.В., Панченко М.В., Пхалазов Ю.А., Веретенников В.В., Ужegov В.Н., Фадеев В.Я.* Оптические свойства морских прибрежных дымок. Новосибирск: Наука, 1988. 201 с.

D.M. Kabanov, S.M. Sakerin, V.I. Kozlovich. About the effect of the type of air mass on aerosol optical thickness of the atmosphere of Northern Atlantic.

Peculiarities of the aerosol turbidity of the atmosphere under conditions of different types of air masses (equatorial, marine tropical, marine mid-latitude and continental) are considered based in the data obtained during two cruises of the research vessel «Akademik Mstislav Keldysh» in Atlantic Ocean. It is noted that the differences in spectral AOT of the atmosphere in different air masses are statistically significant. It is shown that the aerosol turbidity of the atmosphere in air masses of marine origin is appreciably determined by the influence of relative humidity of air and wind velocity.