

Пространственно-временная изменчивость аэрозольной оптической толщи атмосферы на маршруте 42-го рейса НИС «Академик Борис Петров»

С.М. Сакерин, Д.М. Кабанов*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 14.06.2017 г.

Обсуждаются результаты экспедиционных исследований пространственно-временной изменчивости аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы в 42-м рейсе НИС «Академик Борис Петров» (18.01–28.03.2017 г.) на маршруте от Сингапура до Калининграда (через Суэцкий канал). Показано, что самые высокие замутнения атмосферы наблюдались над Аравийским (за счет выносов мелкодисперсного аэрозоля из Индостана) и над Красным морями (за счет выносов пылевого аэрозоля), где средние АОТ в области 0,50 мкм составили 0,355 и 0,304 соответственно. Значительным аэрозольным замутнением отличается также атмосфера в Малаккском проливе, отягощенная выносами аэрозоля со стороны Суматры и Западной Малайзии (средняя АОТ – 0,262). Отмечено разное содержание аэрозоля в соседних экваториальных районах Индийского океана: АОТ в средней части океана, более удаленной от континентов, оказались в 1,5–2,0 раза выше, чем вблизи острова Суматра. Для всей тропической зоны Индийского океана характерны высокие значения показателя селективности Ангстрема (1,08–1,18), свидетельствующие о преобладающем вкладе в АОТ мелкодисперсного аэрозоля.

Ключевые слова: аэрозольная оптическая толщина, Индийский и Атлантический океаны; aerosol optical depth, Indian and Atlantic Oceans.

Введение

Аэрозоль оказывает существенное влияние на спектральную прозрачность атмосферы и радиационные взаимодействия. Основной характеристикой аэрозоля, определяющей интегральное (в столбе атмосферы) ослабление оптического излучения, является аэрозольная оптическая толщина (АОТ), которая имеет спектральные особенности, зависящие от размеров и показателя преломления аэрозольных частиц. Пространственно-временная изменчивость АОТ атмосферы над океаном в значительной степени формируется под влиянием выносов аэрозолей различного типа (пылевого, дымового, антропогенного) с континентов [1–3], т.е. определяется географическим распределением континентальных источников и преобладающей циркуляцией воздушных масс в том или ином регионе. Пассатный перенос Сахарской пыли в Атлантику и муссонные выносы аэрозолей различного типа в акватории Тихого и Индийского океанов – примеры наиболее сильных континентальных воздействий.

Обращаясь к истории исследований АОТ атмосферы над Индийским океаном [2], отметим, что

начало было положено в 1970–1980-х гг. [3–7] преимущественно советскими учеными. В 1990-х гг. характеристики аэрозоля в различных секторах Индийского океана начали активно изучать индийские коллеги [8, 9]. Российские же экспедиции в этом регионе возобновились только в декабре 2015 г. – рейс НИС «Академик Николай Страхов» в Аравийском и Красном морях [10].

Измерения АОТ атмосферы в новой экспедиции – 42-м рейсе НИС «Академик Борис Петров» – представляли интерес с двух точек зрения: 1) сравнения и повышения достоверности измерений АОТ в предыдущей экспедиции [10]; 2) получения данных о пространственно-временной изменчивости АОТ в других менее исследованных районах Индийского океана.

1. Экспедиционные измерения

В первом квартале 2017 г. в рамках программы 42-го рейса НИС «Академик Борис Петров» проводились исследования спектральной прозрачности атмосферы на маршруте от Сингапура до Калининграда через Суэцкий канал (рис. 1). В измерениях использовался портативный солнечный фотометр SPM [11], работающий в диапазоне спектра 0,34–2,14 мкм. По данным спектральных измерений определялись АОТ $\tau^a(\lambda)$, влагосодержание атмосферы W ,

* Сергей Михайлович Сакерин (sms@iao.ru); Дмитрий Михайлович Кабанов (dkab@iao.ru).

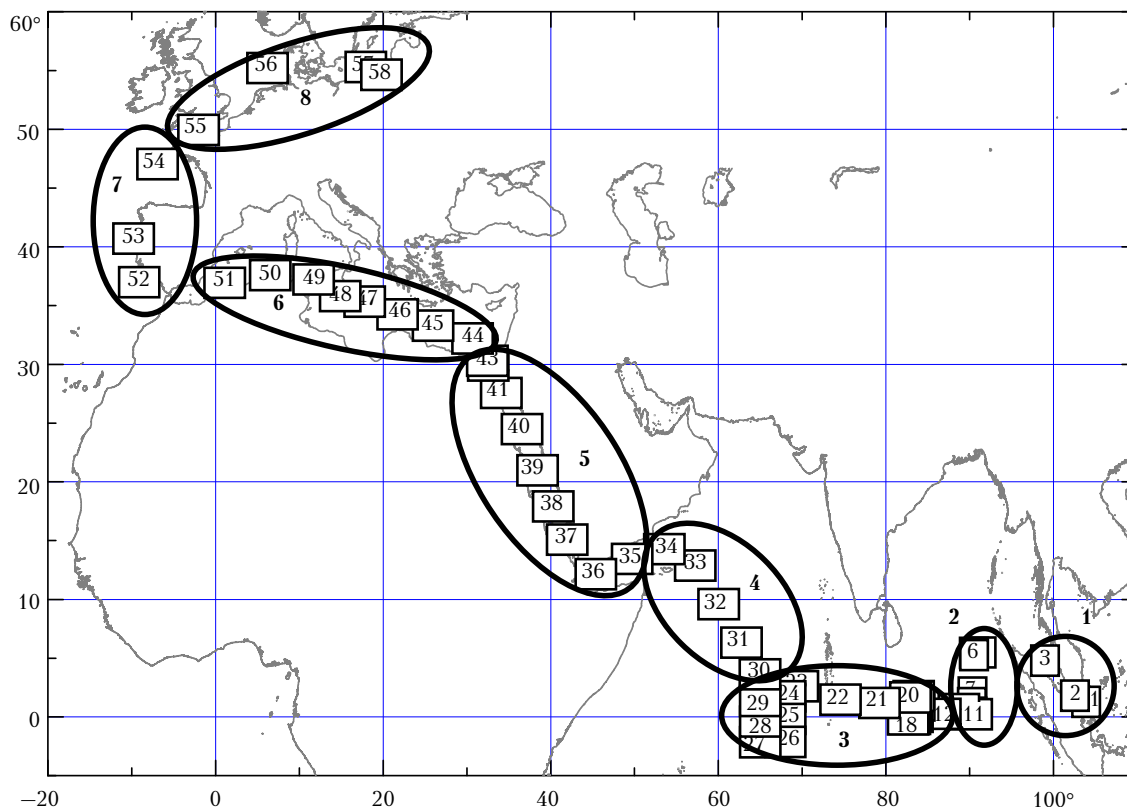


Рис. 1. Маршрут 42-го рейса «Академик Борис Петров» (в квадратах указаны порядковые номера дней измерений АОТ, овалами обозначены анализируемые районы)

параметры Ангрстрема α и β , а также две составляющие АОТ, обусловленные ослаблением радиации грубо- (τ^c) и мелкодисперсным (τ^f) аэрозолем [12, 13]:

$$\tau^a(\lambda) = \tau^c + \tau^f(\lambda) \approx \tau^c + m\lambda^{-n}, \quad (1)$$

где m и n – параметры спектральной зависимости $\tau^f(\lambda)$ (значения τ^f в нашей работе, как и ранее [10, 13], представлены для $\lambda = 0,50$ мкм).

Первые наблюдения солнечным фотометром были выполнены 18.01.2017 г. во время стоянки судна на рейде Сингапура, последние – 28.03 на рейде Балтийска. Общее число серий измерений (после отбраковки ложных замеров) составило 1374, среднечасовых значений АОТ – 410, дней наблюдений – 58.

Для выяснения особенностей пространственного распределения аэрозоля и влияния континентальных выносов на маршруте экспедиции были выделены восемь районов с условными названиями: 1) «Малаккский пролив», 2) «Суматра» – экваториальный район западнее Суматры, 3) «Мальдивы» – экваториальный район восточнее и западнее Мальдивских островов, 4) «Аравийское море», 5) «Красное море», включая Аденский залив и Суэцкий канал, 6) «Средиземное море», 7) «Атлантика» – от Гибралтара до Ла-Манша, 8) «Северные моря» (Северное и Балтийское). Количество дней измерений и рассчитанных среднечасовых значений АОТ (N_h) в каждом из районов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Распределение полученных данных (N_h и количество дней измерений) на маршруте 42-го рейса НИС «Академик Борис Петров»

№	Условное название района	Сроки	N_h	Дней
1	Малаккский пролив	18.01–23.01	7	3
2	Суматра	24.01–03.02	21	8
3	Мальдивы	04.02–22.02	156	18
4	Аравийское море	23.02–27.02	52	5
5	Красное море	28.02–08.03	87	9
6	Средиземное море	09.03–17.03	58	8
7	Атлантика	18.03–21.03	16	3
8	Северные моря	22.03–28.03	13	4
<i>Всего</i>		18.01–28.03	410	58

При выделении указанных районов учитывались существующие представления о географии распределения континентальных источников аэрозоля и преобладающей циркуляции воздушных масс, которые влияют на содержание аэрозоля над океаном, а также статистическая обеспеченность данных в каждом из районов.

2. Обсуждение результатов

На рис. 2 показана пространственно-временная изменчивость характеристик АОТ (выборочно) и влагосодержания атмосферы на маршруте экспедиции. Видно, что повышенные аэрозольные замутнения атмосферы наблюдались в районах «Аравийское море» (4) и «Красное море» (5), а также кратковременные всплески АОТ 11 и 18.02.2017 г. в районе «Мальдивы» (3).

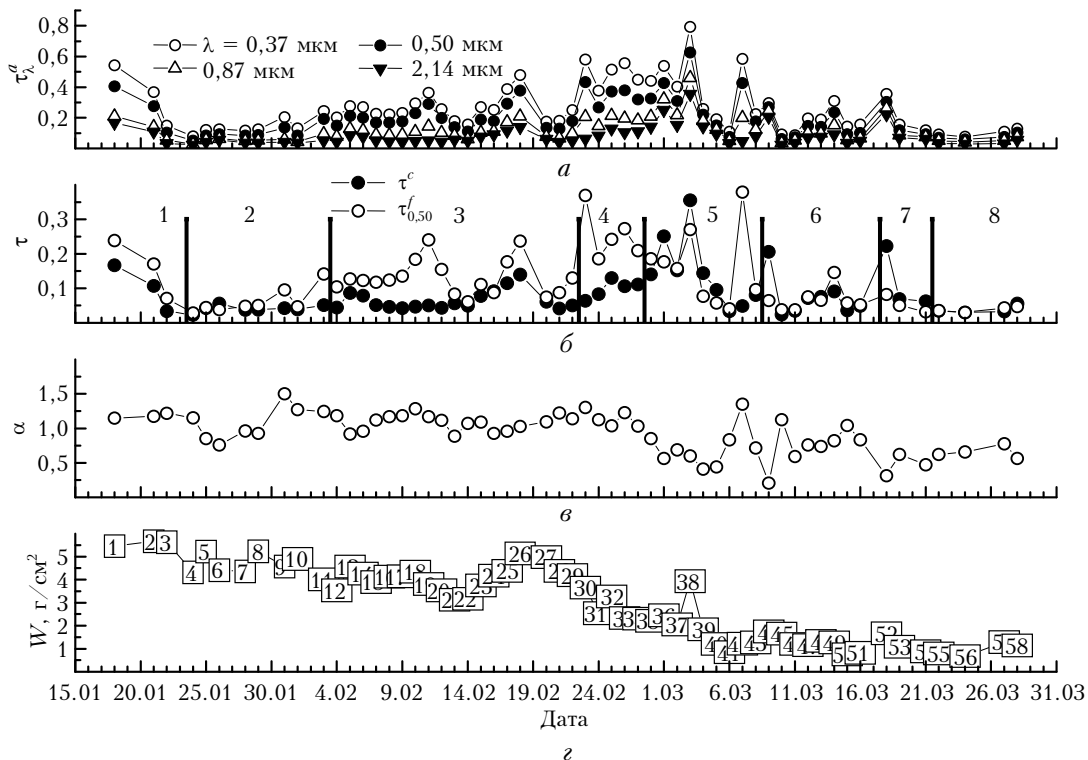


Рис. 2. Вариации среднедневных значений различных характеристик на маршруте 42-го рейса НИС «Академик Борис Петров» (на рис. б показаны границы восьми «аэрозольных» районов, в квадратиках на рис. г — порядковые номера дней измерений)

Максимальные значения грубодисперсной компоненты τ^c (рис. 2, б) были зарегистрированы в районе «Красное море». Кроме того, отдельные всплески τ^c наблюдались 18.01 на рейде Сингапура, 9.03 после выхода из Суэцкого канала и 18.03 вблизи берегов Португалии. Еще большей динамичностью отличалось поведение мелкодисперсной компоненты АОТ — кратковременные (1–3 сут) повышения τ^f отмечены во всех районах, за исключением Северного и Балтийского морей, где атмосфера характеризовалась крайними типами условий: либо высокая прозрачность, либо несколько дней туманов, во время которых измерения не проводились.

Показатель селективности Ангстрема α , в основном отражающий соотношение двух фракций аэрозоля (мелко- и грубодисперсной составляющих АОТ) [13], варьировал в общем диапазоне 0,2–1,5 при более высоких значениях в тропической зоне (рис. 2, в). Показатель селективности n , зависящий только от размеров и показателя преломления мелких частиц, изменялся на маршруте от 0,9 до 3,6. Самые большие его значения и вариации наблюдались в экваториальной зоне вблизи острова Суматра (табл. 2).

Изменение влагосодержания (рис. 2, г) соответствовало зональному распределению содержания водяного пара в атмосфере: в тропической зоне средние значения W менялись в диапазоне 3–6 г/см², в субтропиках — 1–4 г/см², а в умеренных широтах — 0,5–1,5 г/см².

Рассмотрим распределение по районам средних характеристик АОТ (табл. 2, рис. 3).

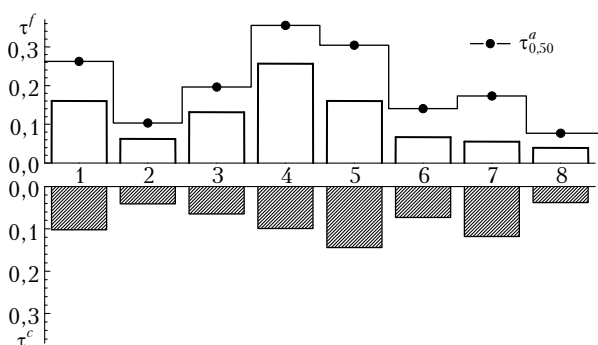


Рис. 3. Распределение АОТ (0,50 мкм) и ее двух компонент τ^c и τ^f по районам экспедиции

Самым высоким замутнением отличается атмосфера Аравийского моря (район 4) в основном за счет большого содержания мелкодисперсного аэрозоля ($\tau^f = 0,26$), выносимого зимним муссоном со стороны Индостана. Большие замутнения характерны также для Красного моря (район 5), где отмечены максимальные значения грубодисперсной компоненты АОТ ($\tau^c = 0,144$) за счет выносов преимущественно пылевого аэрозоля со стороны Аравийского полуострова и Северо-Восточной Африки. Следующий по степени аэрозольного замутнения (по совокупности значений τ^c и τ^f) — Малаккский пролив (район 1), в котором наблюдаются выносы аэрозоля со стороны Суматры и Западной Малайзии.

Средние (\pm СКО) значения различных характеристик в экспедиции НИС «Академик Борис Петров» (18.01–28.03.2017 г.)

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8
$\tau_{0,35}^a$	0,365 \pm 0,208	0,152 \pm 0,053	0,274 \pm 0,084	0,523 \pm 0,086	0,408 \pm 0,232	0,193 \pm 0,086	0,225 \pm 0,131	0,109 \pm 0,025
$\tau_{0,37}^a$	0,353 \pm 0,197	0,144 \pm 0,053	0,260 \pm 0,082	0,496 \pm 0,083	0,394 \pm 0,220	0,184 \pm 0,084	0,211 \pm 0,126	0,102 \pm 0,023
$\tau_{0,44}^a$	0,300 \pm 0,172	0,119 \pm 0,050	0,224 \pm 0,073	0,416 \pm 0,072	0,346 \pm 0,192	0,161 \pm 0,079	0,188 \pm 0,120	0,087 \pm 0,020
$\tau_{0,50}^a$	0,262 \pm 0,151	0,102 \pm 0,043	0,196 \pm 0,067	0,355 \pm 0,062	0,304 \pm 0,171	0,140 \pm 0,076	0,173 \pm 0,115	0,077 \pm 0,018
$\tau_{0,55}^a$	0,235 \pm 0,138	0,090 \pm 0,038	0,178 \pm 0,061	0,316 \pm 0,055	0,280 \pm 0,158	0,129 \pm 0,074	0,164 \pm 0,112	0,071 \pm 0,018
$\tau_{0,67}^a$	0,188 \pm 0,114	0,073 \pm 0,029	0,143 \pm 0,050	0,247 \pm 0,039	0,242 \pm 0,137	0,113 \pm 0,071	0,151 \pm 0,108	0,063 \pm 0,016
$\tau_{0,77}^a$	0,156 \pm 0,093	0,062 \pm 0,022	0,122 \pm 0,043	0,213 \pm 0,032	0,223 \pm 0,127	0,106 \pm 0,070	0,145 \pm 0,106	0,059 \pm 0,015
$\tau_{0,87}^a$	0,135 \pm 0,079	0,056 \pm 0,019	0,108 \pm 0,038	0,190 \pm 0,026	0,210 \pm 0,121	0,101 \pm 0,069	0,141 \pm 0,104	0,055 \pm 0,015
$\tau_{1,05}^a$	0,121 \pm 0,071	0,050 \pm 0,015	0,092 \pm 0,033	0,157 \pm 0,022	0,190 \pm 0,114	0,093 \pm 0,067	0,135 \pm 0,101	0,051 \pm 0,014
$\tau_{1,56}^a$	0,106 \pm 0,067	0,043 \pm 0,011	0,072 \pm 0,028	0,115 \pm 0,023	0,159 \pm 0,106	0,080 \pm 0,062	0,124 \pm 0,095	0,043 \pm 0,013
$\tau_{2,14}^a$	0,103 \pm 0,067	0,041 \pm 0,010	0,065 \pm 0,028	0,099 \pm 0,026	0,144 \pm 0,102	0,073 \pm 0,058	0,118 \pm 0,091	0,038 \pm 0,012
τ^c	0,102 \pm 0,067	0,041 \pm 0,010	0,065 \pm 0,028	0,099 \pm 0,026	0,144 \pm 0,102	0,073 \pm 0,058	0,118 \pm 0,091	0,038 \pm 0,012
$\tau_{0,50}^f$	0,160 \pm 0,084	0,062 \pm 0,038	0,131 \pm 0,051	0,256 \pm 0,072	0,160 \pm 0,110	0,067 \pm 0,034	0,055 \pm 0,026	0,039 \pm 0,008
(τ^f/τ^c)	1,57	1,48	2,01	2,58	1,1	0,92	0,47	1,03
(τ^f/τ^a)	0,61	0,61	0,67	0,72	0,53	0,48	0,32	0,51
α	1,18 \pm 0,04	1,08 \pm 0,25	1,09 \pm 0,12	1,15 \pm 0,12	0,72 \pm 0,28	0,77 \pm 0,28	0,47 \pm 0,16	0,66 \pm 0,09
β	0,116 \pm 0,07	0,047 \pm 0,016	0,093 \pm 0,033	0,159 \pm 0,022	0,187 \pm 0,110	0,090 \pm 0,067	0,131 \pm 0,10	0,050 \pm 0,014
n	2,49 \pm 0,27	2,58 \pm 0,58	2,02 \pm 0,36	1,85 \pm 0,13	1,61 \pm 0,16	1,72 \pm 0,41	1,68 \pm 0,22	1,51 \pm 0,08
m	0,026 \pm 0,011	0,012 \pm 0,010	0,035 \pm 0,018	0,072 \pm 0,027	0,052 \pm 0,034	0,022 \pm 0,017	0,018 \pm 0,012	0,014 \pm 0,003
W , г/см ²	5,58 \pm 0,11	4,63 \pm 0,44	4,09 \pm 0,55	2,82 \pm 0,61	1,89 \pm 0,94	1,24 \pm 0,35	1,21 \pm 0,40	0,98 \pm 0,29

Минимальные средние значения двух компонент АОТ в период экспедиции были зарегистрированы над районом «Северные моря» (8) ($\tau^c = 0,038$, $\tau^f = 0,039$).

Неожиданно большие значения грубодисперсной компоненты АОТ были получены в районе «Атлантика» (7) ($\tau^c = 0,118$). Заметим, что по многолетним данным наших измерений средние значения τ^c на этом участке маршрута составляют 0,03–0,05 [14]. Вероятнее всего, 2–3-кратное отличие от многолетних средних было обусловлено недостаточной статистикой в 42-м рейсе (3 дня измерений).

Обращает на себя внимание отличие характеристик АОТ в соседних экваториальных районах – «Суматра» (2) и «Мальдивы» (3). Несмотря на относительную близость 2-го района к острову Суматра, более высокие значения АОТ (в 1,5–2 раза) оказались в районе «Мальдивы». По-видимому, даже в этой части Индийского океана, более удаленной от суши, сказывается влияние дальних переносов континентального аэрозоля.

Средние (по районам) значения показателя Ангстрема на маршруте экспедиции (см. табл. 2) то увеличиваются, то уменьшаются, но в целом их можно разделить на две группы. В тропической зоне (районы 1–4) наблюдаются высокие значения $\alpha = 1,08$ – $1,18$ (почти как в континентальной атмосфере [12]), свидетельствующие о существенном вкладе в АОТ мелкодисперсного аэрозоля. В северной части маршрута (районы 5–8) средние значения показателя α меняются в диапазоне от 0,47 до 0,77, характерном для морской атмосферы [1–3].

Аналогично группируются по районам соотношение двух компонент АОТ (τ^f/τ^c) и их относительный вклад в общую АОТ. Например, отношение (τ^f/τ^c) в районах 1–4 составляет 0,61–0,72, а в районах 5–8 снижается до 0,32–0,53.

Кластеризацию на две группы районов можно увидеть и в средних значениях показателя селективности мелкодисперсной компоненты АОТ n . Однако в его поведении лучше проявилась другая интересная особенность – согласованное изменение с влажностью и температурой воздуха от $n = 2,5$ – $2,6$ в наиболее жаркой и влажной атмосфере 1-го и 2-го районов до $n = 1,5$ над районом «Северные моря» (8). Выяснение причин такой связи требует отдельного анализа с использованием большего числа данных и в других частях океана.

Средние спектральные зависимости АОТ (рис. 4) расположены в соответствии с величиной и относительным вкладом τ^f и τ^c в различных районах экспедиции. В видимой области спектра, где основную роль играет мелкодисперсный аэрозоль (τ^f), верхнее положение занимает $\tau^a(\lambda)$ в «Аравийском море» (4), затем идут «Красное море» (5), «Малаккский пролив» (1) и «Мальдивы» (3). Аэрозольная оптическая толща в ИК-диапазоне определяется содержанием грубодисперсного аэрозоля: максимальные $\tau^a(\lambda)$ характерны для «Красного моря» (5), далее следуют «Аравийское море» (4), «Атлантика» (7) и «Малаккский пролив» (1). Минимальные значения $\tau^a(\lambda)$ в ИК-диапазоне наблюдались в районах «Северные моря» (8) и «Суматра» (2).

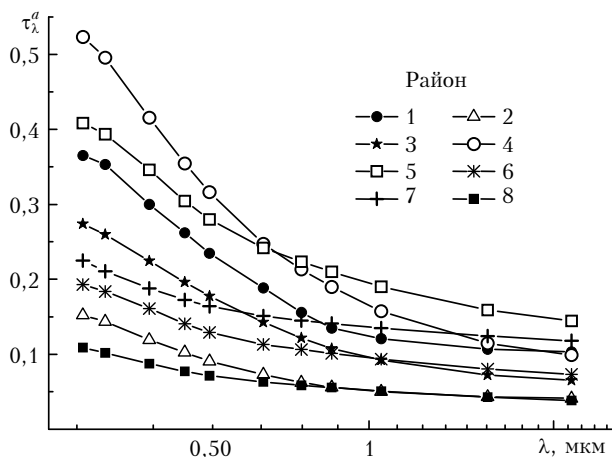


Рис. 4. Средние спектральные зависимости АОТ атмосферы в различных районах экспедиции

Таким образом, характерные особенности районов, выделенных на маршруте экспедиции, следующие:

«Аравийское море» (4) – самые высокие значения τ^f и АОТ в видимой области спектра в сочетании с большим показателем α ;

«Красное море» (5) – максимальное содержание грубодисперсного аэрозоля (τ^c) и АОТ в ИК-диапазоне при вторых по значимости значениях τ^f и показателя α ;

«Малаккский пролив» (1) – максимальный показатель α при больших значениях τ^f и τ^c ;

«Суматра» и «Мальдивы» – экваториальные районы с относительно малым содержанием грубодисперсного аэрозоля и высоким влагосодержанием (кроме того, в районе «Суматра» – максимальное значение показателя n и минимальное – параметра m);

«Средиземное море» (6) – занимает промежуточное (среднее) положение по величине большинства характеристик АОТ;

«Атлантика» (7) – минимальная селективность спектрального хода АОТ (показатель α) и низкие значения τ^f ;

«Северные моря» (8) – минимальные значения обеих компонент АОТ и показателя n .

Средние характеристики АОТ, полученные над Аравийским и Красным морями, были сопоставлены с результатами предшествующей экспедиции НИС «Академик Николай Страхов» [10]. Согласие данных двух рейсов проявилось 1) в том, что содержание грубодисперсного аэрозоля над Аравийским морем меньше, чем над Красным; 2) в практически одинаковых средних значениях $\tau^f = 0,16$ над Красным морем. Другие характеристики АОТ в рейсе НИС «Академик Борис Петров» в основном оказались больше, чем в работе [10]. Над Аравийским морем 2-кратное превышение АОТ было связано с более высоким содержанием мелкодисперсного аэрозоля, а над Красным морем – с большими (в 1,4 раза) значениями грубодисперсной компоненты. Основной причиной различия данных в двух

экспедициях, по нашему мнению, является сезонный фактор: измерения АОТ в рейсе НИС «Академик Николай Страхов» проводились в зимний период, на два месяца раньше. Нельзя также исключить пока недостаточную статистическую обеспеченность данных – число дней измерений над Красным и Аравийским морями в каждом из рейсов составляло 5–9 дней. Из-за высокой пространственной и сезонной изменчивости аэрозольного замутнения атмосферы в северной части Индийского океана даже средние АОТ в различных экспедициях варьируются в широком интервале значений. Например, для северо-восточного сектора Индийского океана (от экватора до Аравийского моря включительно) разные авторы приводят средние значения АОТ в диапазоне от 0,05 до 0,50 и более [2–9, 15, 16].

Заключение

С 18.01 по 28.03.2017 г. проведены измерения АОТ атмосферы в диапазоне спектра 0,34–2,14 мкм с борта НИС «Академик Борис Петров» на маршруте от Сингапура до Калининграда. Основная часть данных (~75%) получена в экваториальном и северном тропическом поясах Индийского океана.

Результаты исследований показали, что самые высокие замутнения атмосферы наблюдались над Аравийским морем (за счет выносов мелкодисперсного аэрозоля из Индостана, $\tau^f = 0,256$, $\tau_{0,50}^a = 0,355$) и над Красным морем (за счет выносов крупного пылевого аэрозоля, $\tau^c = 0,144$, $\tau_{0,50}^a = 0,304$). Значительным аэрозольным замутнением отличается также атмосфера района «Малаккский пролив» ($\tau^f = 0,16$, $\tau_{0,50}^a = 0,262$), отягощенная выносами континентального аэрозоля с острова Суматра и из Западной Малайзии.

Отмечено отличие характеристик АОТ в соседних экваториальных районах Индийского океана: значения АОТ в более удаленном от континентов районе «Мальдивы» оказались в 1,5–2 раза выше, чем в районе «Суматра». Для всей тропической зоны Индийского океана (районы 1–4) характерны высокие значения показателя Ангстрема $\alpha = 1,08–1,18$, свидетельствующие о преобладающем вкладе мелкодисперсного аэрозоля.

В поведении показателя селективности мелкодисперсной компоненты АОТ обнаружена интересная особенность зонального уменьшения с юга на север (аналогичная изменению влагосодержания и температуры воздуха): от $n = 2,0–2,6$ в экваториальной зоне до $n = 1,5$ над районом «Северные моря». Выяснение причин такой изменчивости показателя n (или взаимосвязи с влагосодержанием или температурой) требует отдельного анализа.

В целом можно считать, что полученные результаты соответствуют существующим представлениям о влиянии континентального аэрозоля на пространственно-временную изменчивость АОТ атмосферы над океаном.

Авторы выражают благодарность руководителю научно-координационного океанологического центра С.М. Шаповалову, капитану НИС «Академик Николай Страхов» С.Ю. Андрееву и начальнику отряда М.А. Криницкому за содействие в проведении исследований. Работы выполнялись при финансовой поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН (проект № IX.133-3).

1. *Sakerin S.M., Kabanov D.M., Smirnov A.V., Holben B.N.* Aerosol optical depth of the atmosphere over ocean in the wavelength range 0.37–4 μm // *Int. J. Remote Sens.* 2008. V. 29, iss. 9. P. 2519–2547. DOI: 10.1080/01431160701767492.
2. *Smirnov A., Holben B.N., Kaufman Y.J., Dubovik O., Eck T.F., Slutsker I., Pietras C., Halthore R.N.* Optical properties of atmospheric aerosol in maritime environments // *J. Atmos. Sci.* 2002. V. 59, N 3. Part 1. P. 501–523.
3. *Бартенева О.Д., Никитинская Н.И., Сакунов Г.Г., Веселова Л.К.* Прозрачность толщи атмосферы в видимой и ближней ИК-области спектра. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 224 с.
4. *Гуцин Г.К.* Оптические характеристики аэрозоля над океанами // *Тр. ГГО.* 1970. Вып. 255. С. 52–68.
5. *Шифрин К.С., Гашко В.А., Новогрудский Б.В.* Спектральная прозрачность атмосферы над тропической частью Индийского океана // *Гидрофизические и оптические исследования в Индийском океане.* М.: Наука, 1975. С. 164–170.
6. *Tomasi C., Prodi F.* Measurement of atmospheric turbidity and vertical mass loading of particulate matter in marine environments (Red Sea, Indian Ocean, and Somalian Coast) // *J. Geophys. Res.* 1982. V. 87, N C2. P. 1279–1286.
7. *Шифрин К.С., Волгин В.М., Волков Б.Н., Ершов О.А., Смирнов А.В.* Оптическая толщина аэрозоля атмосферы над морем // *Исслед. Земли из космоса.* 1985. № 4. С. 21–30.
8. *Moorthy K.K., Satheesh S.K., Murthy B.V.K.* Investigations of marine aerosols over the tropical Indian Ocean // *J. Geophys. Res.* 1997. V. 102, N D15. P. 18,827–18,842.
9. *Satheesh S.K., Moorthy K.K., Murthy B.V.K.* Spatial gradients in aerosol characteristics over the Arabian Sea and Indian Ocean // *J. Geophys. Res.* 1998. V. 103, N D20. P. 26,183–26,192.
10. *Сакерин С.М., Голобокова Л.П., Кабанов Д.М., Польшкин В.В., Турчинович Ю.С., Ходжер Т.В., Хуриганова О.И.* Пространственно-временная изменчивость характеристик аэрозоля на маршруте Индо-Атлантической экспедиции НИС «Академик Николай Страхов» // *Оптика атмосфер. и океана.* 2017. Т. 30, № 1. С. 42–52. DOI: 10.15372/AOO20170106; *Sakerin S.M., Golobokova L.P., Kabanov D.M., Polshkin V.V., Turchinovich Yu.S., Khodzher T.V., Khuriganova O.I.* Spatiotemporal variations in aerosol characteristics along the route of the Indian-Atlantic expedition onboard the Research Vessel Akademik Nikolaj Strakhov // *Atmos. Ocean. Opt.* 2017. V. 30, N 4. P. 349–359.
11. *Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А., Князев В.В.* Солнечные фотометры для измерений спектральной прозрачности атмосферы в стационарных и мобильных условиях // *Оптика атмосфер. и океана.* 2012. Т. 25, № 12. С. 1112–1117; *Sakerin S.M., Kabanov D.M., Rostov A.P., Turchinovich S.A., Knyazev V.V.* Sun photometers for measuring spectral air transparency in stationary and mobile conditions // *Atmos. Ocean. Opt.* 2013. V. 26, N 4. P. 352–356.
12. *Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России* // под общей ред. С.М. Сакерина. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2012. 484 с.
13. *Сакерин С.М., Кабанов Д.М.* Мелко- и грубодисперсные компоненты аэрозольной оптической толщи атмосферы в морских и полярных районах // *Оптика атмосфер. и океана.* 2015. Т. 28, № 8. С. 690–697; *Sakerin S.M., Kabanov D.M.* Fine and coarse components of atmospheric aerosol optical depth in maritime and polar regions // *Atmos. Ocean. Opt.* 2015. V. 28, N 6. P. 510–517.
14. *Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Польшкин В.В., Радионов В.Ф., Holben B.N., Smirnov A.* Вариации оптических и микрофизических характеристик аэрозоля на маршруте Российских антарктических экспедиций в Восточной Атлантике // *Оптика атмосфер. и океана.* 2016. Т. 29, № 8. С. 666–678. DOI: 10.15372/AOO20160808; *Sakerin S.M., Kabanov D.M., Polshkin V.V., Radionov V.E., Holben B.N., Smirnov A.* Variations in aerosol optical and microphysical characteristics along the route of Russian Antarctic expeditions in the East Atlantic // *Atmos. Ocean. Opt.* 2017. V. 30, N 1. P. 89–102.
15. *Kalapureddy M.C.R., Kaskaoutis D.G., Ernest Raj P., Dexara P.C.S., Kambezidis H.D., Kosmopoulos P.G., Nastos P.T.* Identification of aerosol type over the Arabian Sea in the premonsoon season during the Integrated Campaign for Aerosols, Gases and Radiation Budget (ICARB) // *J. Geophys. Res.* 2009. V. 114. P. D17203. DOI: 10.1029/2009JD011826.
16. *Moorthy K.K., Saha A., Prasad B.S.N., Niranjan K., Jhurry D., Pillai P.S.* Aerosol optical depths over peninsular India and adjoining oceans during the INDOEX campaigns: Spatial, temporal, and spectral characteristics // *J. Geophys. Res.* 2001. V. 106, N D22. P. 28,539–28,554.

S.M. Sakerin, D.M. Kabanov. Spatiotemporal variations in atmospheric aerosol optical depth along the route of the 42nd cruise of RV “Akademik Boris Petrov”.

Results of expedition studies of the spatiotemporal variations in the aerosol optical depth (AOD) of the atmosphere during the 42nd cruise of RV “Akademik Boris Petrov” along the route from Singapore to Kaliningrad (via Suez Canal) are discussed. It is shown that the highest atmospheric turbidities were observed over the Arabian Sea (due to the outflows of fine-mode aerosol from Hindustan) and the Red Sea (due to the outflows of dust aerosol), where the average AODs in the region 0.5 μm were 0.355 and 0.304, respectively. A considerable aerosol turbidity is also characteristic for the atmosphere in the Strait of Malacca, burdened by aerosol outflows from the direction of Sumatra and Western Malaysia (average AOD is 0.262). Different aerosol content is noted in the neighboring equatorial regions of the Indian Ocean: the average AOD in the middle of the ocean, more remote from the continents, turned out to be a factor of 1.5–2 larger than near Sumatra. All tropical zone of the Indian Ocean is characterized by high values of Ångström selectivity exponent (1.08–1.18), indicating a predominating contribution of fine-mode aerosol to AOD.