

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В ПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЙ

*д-р физ.-мат. наук С.М. САКЕРИН¹, канд. физ.-мат. наук Д.М. КАБАНОВ¹,
канд. физ.-мат. наук В.С. КОЗЛОВ¹, канд. физ.-мат. наук В.В. ПОЛЬКИН¹,
канд. геогр. наук В.Ф. РАДИОНОВ², канд. физ.-мат. наук Д.Г. ЧЕРНОВ¹*

¹ — Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, e-mail: sms@iao.ru

² — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: vradion@ari.ru

В последнее десятилетие авторами ведутся исследования с борта научных судов микрофизических и оптических характеристик аэрозоля в высокоширотных районах океана: массовой концентрации аэрозоля и «сажи» в приводном слое, дисперсного состава частиц, аэрозольной оптической толщи в диапазоне спектра 0,34–2,14 мкм и влагосодержания атмосферы. В статье проводится обобщение и сравнительный анализ характеристик аэрозоля, полученных в Южном океане (51–59-я РАЭ), 100-мильной зоне вблизи Антарктиды и трех районах Северного Ледовитого океана. Обсуждаются особенности пространственного распределения и временной изменчивости параметров аэрозоля в полярных районах.

Ключевые слова: аэрозоль, полярные районы, аэрозольная оптическая толщина, сажа.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение окружающей среды и происходящих климатических изменений в полярных районах стало одной из приоритетных задач в конце XX – начале XXI века. Это обусловлено тем, что полярные области являются наиболее чувствительными частями климатической системы планеты (Алексеев и др., 2011; Eisenman et al., 2007; IPCC, 2013). Атмосферный аэрозоль, являясь одной из наиболее динамичных составляющих природной среды, играет важную роль в процессах перераспределения рассеянной и поглощенной солнечной радиации, образования облачности, изменения альbedo снежной поверхности (Ивлев, 2001; Кондратьев, 2006; Haywood, Boucher, 2000; Johnson et al., 2004) и др.), а также переноса вещества атмосферными массами (см. например, (Шевченко, 2006; Виноградова, Пономарева, 2012; Rahn, 1981)).

Атмосфера в полярных областях, обедненная собственными источниками аэрозоля, менее загрязнена в сравнении с другими регионами Земли. Вместе с тем имеются отличия в характеристиках аэрозольной составляющей атмосферы в южной и северной полярных областях. На состав арктической атмосферы влияют выносы континентального аэрозоля со стороны Евразии и Америки, в то время как антарктическая атмосфера, в силу географического расположения, менее подвержена влиянию дальних переносов примесей.

Наблюдения за атмосферным аэрозолем в последние годы ведутся на многих арктических, антарктических станциях и в высокоширотных и морских экспедициях. Основные результаты этих исследований обобщались, например, в работах (Tomasi et al., 2007; 2012; 2015). Кроме оптических характеристик и дисперсного состава арктического аэрозоля, особое внимание стало уделяться исследованиям содержащегося в аэрозоле поглощающего вещества («сажи») и влияния выносов из Евразии и Северной Америки на уровень его концентраций (Виноградова, 2012; Виноградова и др., 2015; Huang et al., 2010; Wang et al., 2011).

В рамках сотрудничества ААНИИ и ИОА СО РАН уже более десяти лет ведутся ежегодные измерения оптических, микрофизических характеристик и химического состава атмосферного аэрозоля в различных районах Южного и Северного Ледовитого океанов. Результаты исследований аэрозоля по отдельным экспедициям обсуждались в ряде публикаций (Полькин и др., 2011; Сакерин и др., 2012а; 2013; 2014; Чернов и др., 2014; Sakerin et al., 2015). В данной работе проводится обобщение и сравнительный анализ характеристик аэрозоля, полученных в полярных областях обоих полушарий.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В измерениях характеристик аэрозоля использовались комплекты приборов в составе портативного солнечного фотометра, фотоэлектрических счетчиков частиц (АЗ-5, АЗ-10, GRIMM), аэталометра (измеритель массовой концентрации поглощающего вещества — «сажи») и в некоторых случаях — нефелометра ФАН. Основные характеристики этих приборов и методик определения искомым характеристик приводились в публикациях (Сакерин и др., 2012б; Кабанов и др., 2009; Козлов и др., 2008; Счетчик..., 2010; Шмаргунов и др., 2007; 2008; Grimm et al., 2009).

По данным экспедиционных измерений определялись: спектральная аэрозольная оптическая толщина (АОТ) атмосферы в диапазоне спектра 0,34–2,14 мкм, массовая концентрация аэрозоля (M_A , $\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$) и «сажи» (M_{BC} , $\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$), счетная концентрация частиц (N_A , см^{-3}) в диапазоне диаметров от 0,4 до 10 мкм, влагосодержание атмосферы (W , см).

Наблюдения солнечным фотометром проводились 1–2 раза в час, в ситуациях, когда солнце не было закрыто облачностью. По полученным данным рассчитывались среднечасовые значения спектральных АОТ атмосферы. Приземные характеристики аэрозоля измерялись ежечасно (продолжительность одного цикла около 15 мин).

Сравнительный анализ результатов измерений проведен для следующих районов:

- 1) акватория Южного океана южнее 50° ю.ш., 2007–2014 гг.;
- 2) подрайон «Антарктида» (обсерватория «Мирный» и 100-мильная зона вблизи берегов Антарктиды), 2007–2014 гг.;
- 3) удаленные от побережья районы Северного Ледовитого океана (СЛО), 2013 г.;
- 4) гидрометеорологическая обсерватория в Тикси, 2010 г.;
- 5) Российский научный центр на Шпицбергене — РНЦШ (п. Баренцбург), 2011–2014 гг.

Кроме того, для большей детализации при описании приземных характеристик аэрозоля дополнительно выделены районы «Баренцево море, юг» (вблизи побережья) и «Баренцево море, север», а при анализе данных об АОТ в п. Баренцбург (РНЦШ) отдельно рассматривались данные для весеннего (I — апрель–июнь) и летне-осеннего (II — июль–сентябрь) циклов наблюдений.

СПЕКТРАЛЬНАЯ АЭРОЗОЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ТОЛЩИНА АТМОСФЕРЫ

По результатам измерений интенсивности солнечной радиации в узких спектральных участках солнечным фотометром определялись спектральный ход АОТ, параметры α и β формулы Ангстрема:

$$\tau^{\alpha}(\lambda) = \beta \cdot \lambda^{-\alpha}, \quad (1)$$

а также мелко- (τ^f) и грубодисперсная (τ^c) компоненты АОТ (Сакерин и др., 2012а; 2014):

$$\tau^{\alpha}(\lambda) = \tau^c + \tau^f(\lambda) \approx \tau^c + m \cdot \lambda^{-n}, \quad (2)$$

где m и n — параметры мелкодисперсной компоненты τ^f , аналогичные параметрам Ангстрема. (Мелкодисперсная компонента АОТ обычно оценивается для длины волны 0,5 мкм — $\tau^f_{0,5}$).

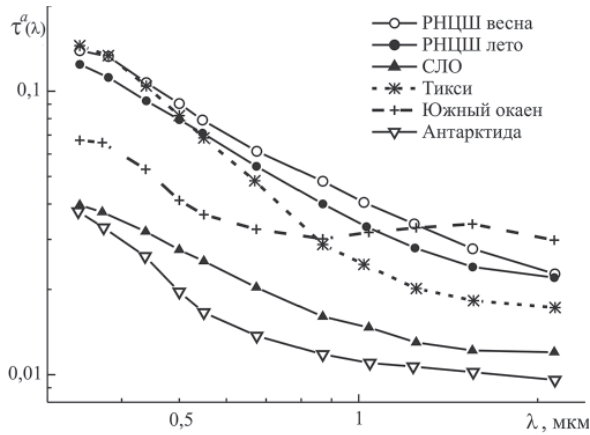


Рис. 1. Средние спектральные зависимости АОТ атмосферы в высокоширотных районах и Южном океане.

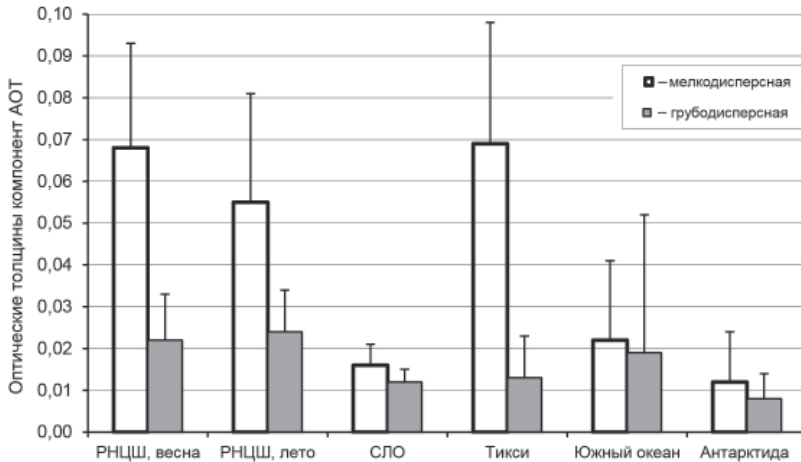


Рис. 2. Средние значения грубодисперсной (τ^c) и мелкодисперсной ($\tau^f_{0,5}$) компонент АОТ в высокоширотных районах.

На рис. 1 приведены средние спектральные зависимости АОТ, измеренные в пяти районах Арктики и Антарктики. Более подробная информация о параметрах АОТ в полярных районах представлена в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Средние (\pm СКО) значения характеристик АОТ атмосферы, общее влагосодержание атмосферы (W) и количество дней наблюдений (n) в полярных районах

Характеристика	РНЦШ, I	РНЦШ, II	СЛО	Тикси	Южный океан	Антарктида
$\tau_{0,38}^a$	0,139 \pm 0,060	0,112 \pm 0,042	0,037 \pm 0,003	0,134 \pm 0,053	0,066 \pm 0,066	0,033 \pm 0,015
$\tau_{0,5}^a$	0,090 \pm 0,028	0,079 \pm 0,030	0,028 \pm 0,003	0,082 \pm 0,035	0,041 \pm 0,05	0,020 \pm 0,01
$\tau_{0,87}^a$	0,048 \pm 0,013	0,040 \pm 0,016	0,016 \pm 0,002	0,029 \pm 0,01	0,03 \pm 0,044	0,012 \pm 0,007
$\tau_{2,14}^a$	0,023 \pm 0,011	0,022 \pm 0,014	0,012 \pm 0,003	0,017 \pm 0,008	0,03 \pm 0,036	0,01 \pm 0,007
α	1,15 \pm 0,38	1,24 \pm 0,26	0,97 \pm 0,42	1,87 \pm 0,20	1,05 \pm 0,73	1,17 \pm 0,54
β	0,04 \pm 0,012	0,034 \pm 0,015	0,014 \pm 0,003	0,022 \pm 0,008	0,026 \pm 0,04	0,009 \pm 0,006
$\tau_{0,5}^f$	0,068 \pm 0,025	0,055 \pm 0,026	0,016 \pm 0,005	0,069 \pm 0,029	0,022 \pm 0,019	0,012 \pm 0,007
τ^c	0,022 \pm 0,011	0,024 \pm 0,01	0,012 \pm 0,003	0,013 \pm 0,01	0,019 \pm 0,033	0,008 \pm 0,006
W , см	0,53 \pm 0,18	1,14 \pm 0,25	0,74 \pm 0,13	1,21 \pm 0,42	0,62 \pm 0,16	0,38 \pm 0,25
n , дней	67	39	3	10	10	318

Из рис. 1 видно, что минимальные значения спектральных АОТ получены в Антарктиде (обсерватория «Мирный» и 100-мильная зона вблизи берегов). Несколько больше они над акваториями арктических морей (СЛО). В этих районах, частично покрытых льдом и наиболее удаленных от континентов, наблюдаются самые малые значения мелко- и грубодисперсной компонент АОТ: $\tau^c = 0,012$, $\tau_{0,5}^f = 0,016$ (см. рис. 2). Они характеризуют глобальный фоновый уровень аэрозоля. Самые большие значения АОТ наблюдались на арх. Шпицберген в начале теплого периода: средние $\tau_{0,5}^f$ больше фонового уровня в 4–6 раз, а τ^c — примерно в 2 раза. Промежуточные по величинам значения АОТ, особенно ее крупнодисперсной фракции, наблюдаются над акваторией Южного океана.

По средней величине мелкодисперсной компоненты АОТ можно выделить два типа районов или мест наблюдений: «сухопутные» (Шпицберген, Тикси); удаленные от континентов части акватории СЛО и Антарктика. Несколько иначе группируются районы по величине грубодисперсной компоненты АОТ. Выше среднего уровня значения τ^c на Шпицбергене (почвенный аэрозоль с поверхности) и в Южном океане (генерация крупного морского аэрозоля). Ниже среднего уровня значения τ^c в районах, частично покрытых льдом/снегом, — Антарктида, СЛО, Тикси.

Для оценки наиболее вероятных значений τ^c и $\tau_{0,5}^f$ в полярных регионах были рассчитаны гистограммы повторяемостей отдельно для северной и южной полярных областей. Они приведены на рис. 3. Из-за разного числа данных в рассматриваемых районах было проведено статистическое выравнивание с учетом весовых коэффициентов.

Из рис. 3 видно, что гистограммы грубодисперсной компоненты АОТ соответствуют логнормальному распределению. В Антарктике основная часть значений τ^c сосредоточена в диапазоне 0–0,015 (наиболее вероятное — 0,005), а в Арктике — в диапазоне 0,01–0,03 (наиболее вероятное — 0,015).

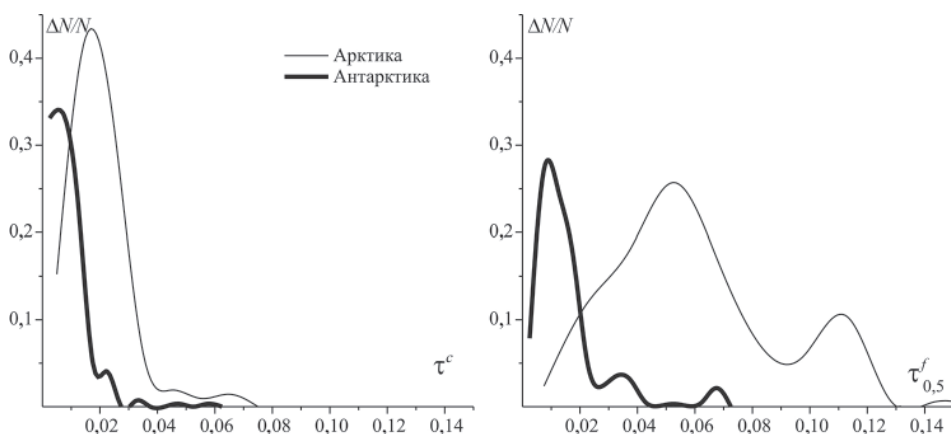


Рис. 3. Сглаженные гистограммы повторяемостей грубодисперсной и мелкодисперсной, $\Delta N/N$, фракций аэрозоля в высокоширотных районах.

Гистограмма распределений мелкодисперсной компоненты АОТ в Антарктике тоже логнормальная с наиболее вероятными значениями $\tau_{0,5}^f \sim 0,01$. Широкая двухмодальная гистограмма $\tau_{0,5}^f$ в Арктике с максимумами $\sim 0,05$ и $0,11$ отражает влияние континентального аэрозоля на характеристики аэрозольной составляющей атмосферы на станциях, расположенных на суше: Тикси и, особенно за счет весенних данных, на Шпицбергене.

Сравнительный анализ средних и наиболее вероятных значений τ^c , $\tau_{0,5}^f$ в двух полярных областях показывает, что более существенные различия между ними наблюдаются по мелкодисперсной компоненте АОТ — в Арктике $\tau_{0,5}^f$ в 5 раз больше, чем в Антарктике.

КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОЗОЛЯ И «САЖИ» В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

В табл. 2 представлены средние величины, характеризующие содержание в приземном слое воздуха аэрозоля и «сажи» в рассматриваемых районах: счетная концентрация частиц N_A с размерами $d > 0,4$ мкм; счетные концентрации мелкодисперсной фракции частиц N_f в диапазоне размеров $0,4-1$ мкм, грубодисперсной фракции N_c ($d > 1$ мкм) и их отношение (N_c/N_f); массовые концентрации аэрозоля и «сажи» M_A и M_{BC} ; число дней наблюдений n .

Максимальные значения средних концентраций частиц (особенно крупных) наблюдались в приземном слое воздуха в Южном океане за счет генерации морского аэрозоля. В этом районе и самая большая относительная доля грубодисперсного аэрозоля — 19%. Как следствие, над Южным океаном оказались и самые большие значения массовой концентрации аэрозоля: превышение M_A над другими полярными районами составляет 2–4 раза.

В других полярных районах различие концентраций N_A и N_f невелико: средние N_A находятся в диапазоне $1,7-2$ см⁻³, примерно такой же диапазон значений N_f , а относительная доля крупных частиц составляет 3–9%. Отметим также, что среди арктических районов массовая концентрация аэрозоля немного выше на арх. Шпицберген и на юге Баренцева моря вблизи Кольского полуострова. Очевидно, что M_A в этих районах увеличивается за счет континентального аэрозоля — местного и выносов со стороны Европы.

Несколько иначе распределена по районам массовая концентрация «сажи». Повышенными значениями M_{BC} ($0,15-0,16$ мкг·м⁻³) выделяются, как и для массовой концентрации аэрозоля, арх. Шпицберген и южная часть Баренцева моря, где сказывается влияние континента. На севере Баренцева моря содержание «сажи» уменьшается

Средние (\pm СКО) значения счетной концентраций аэрозоля, N (см^{-3}), массовой концентраций аэрозоля и «сажи», M ($\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$) в высокоширотных районах. n — количество дней наблюдений

Параметр	РНЦШ	Баренцево море, юг	Баренцево море, север	СЛО	Южный океан	Антарктида
N_A	1,79 \pm 1,62	1,96 \pm 1,17	1,94 \pm 1,32	1,71 \pm 1,52	5,24 \pm 5,85	1,80 \pm 3,18
N_f	1,66 \pm 1,53	1,88 \pm 1,14	1,9 \pm 1,3	1,64 \pm 1,47	4,95 \pm 5,52	1,70 \pm 2,83
N_c	0,13 \pm 0,15	0,07 \pm 0,03	0,04 \pm 0,03	0,07 \pm 0,09	1,14 \pm 1,78	0,25 \pm 0,73
(N_c/N_f) , %	7,5	4	3	5	19	9
M_A	1,80 \pm 0,26	1,40 \pm 0,81	0,85 \pm 0,50	0,87 \pm 0,82	3,75 \pm 4,73	1,13 \pm 1,88
M_{BC}	0,16 \pm 0,27	0,153 \pm 0,013	0,057 \pm 0,036	0,030 \pm 0,029	0,033 \pm 0,073	0,026 \pm 0,040
n , дней	293	3	6	40	122	~300

примерно в 3 раза и самые низкие значения M_{BC} ($0,03 \text{ мкг}\cdot\text{м}^{-3}$) наблюдаются в южной полярной области и СЛО.

Для сравнения на рис. 4, кроме приведенных в табл. 2 районов, представлены также средние концентрации M_A и M_{BC} , полученные в Карском и Белом морях и в Тикси (Полькин и др., 2011; Голобокова и др., 2013). Сравнение подтверждает, что содержание «сажи» в полярных районах распределено в соответствии с удаленностью и степенью влияния континента: максимальные значения M_{BC} наблюдались над субполярным и практически внутренним Белым морем, минимальные — в удаленных от континентов океанских районах и в Тикси в июне 2010 г.

Массовая концентрация аэрозоля в полярных районах в значительной степени зависит от наличия на подстилающей поверхности льда и снега, которые препятствуют поступлению в атмосферу крупных частиц морского и/или почвенного аэрозоля. По этой причине более высокие значения M_A характерны для открытых акваторий Белого, Карского моря и Южного океана, а минимальные значения — в Антарктиде,

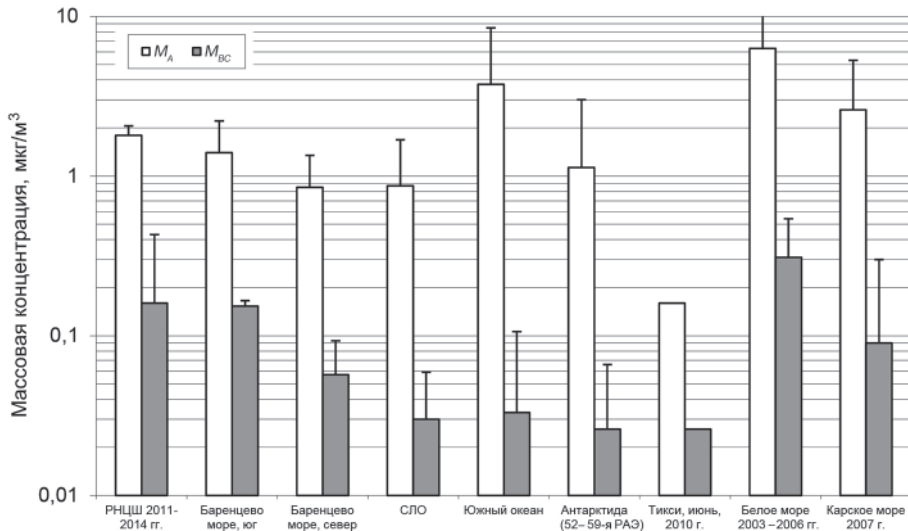


Рис. 4. Средние массовые концентрации аэрозоля и «сажи», $\text{мкг}/\text{м}^3$, в полярных районах.

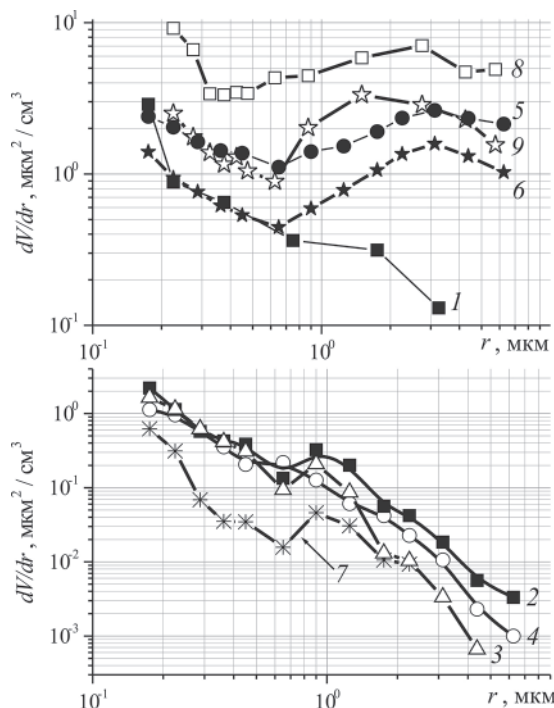


Рис. 5. Средние объемные распределения аэрозольных частиц dV/dr в полярных районах: 1 — РНЦШ; 2 — Баренцево море, юг; 3 — Баренцево море, север; 4 — СЛО; 5 — Южный океан; 6 — Антарктида (100-мильная зона); 7 — Тикси; 8 — Белое море; 9 — Карское море.

в северных частях арктических морей, а также на берегу моря Лаптевых (Тикси), в период, когда поверхность была покрыта льдом или снегом (Голобокова и др., 2013).

На рис. 5 приведено сопоставление распределений частиц по объемам dV/dr в тех же, что и на рис. 4, высокоширотных районах. Основное различие функций dV/dr , превышающее три порядка величины, наблюдается в диапазоне самых крупных частиц: максимальные значения над Белым, Карским морем и Южным океаном; минимальные — в районах 3, 4, 7. Такое распределение dV/dr по районам свидетельствует о важной роли степени открытости морской поверхности как источника генерации морского аэрозоля. В диапазоне самых мелких частиц величины dV/dr в разных районах отличаются друг от друга в меньшей степени — примерно в 10 раз: максимальные значения тоже в Белом море, минимальные — в районах 3, 4, 7.

Неожиданным результатом является то, что средняя функция распределений dV/dr , полученная для прибрежной зоны Антарктиды (особенно в диапазоне крупных частиц) расположена выше, чем для арктических морей. В этой связи отметим, что измерения счетной концентрации аэрозоля в 52–59-й РАЭ проводились тремя типами счетчиков (A3-5, A3-10, GRIMM). Поэтому завышенные значения dV/dr , по-видимому, обусловлены погрешностью взаимной привязки и перерасчета данных измерений различных приборов.

Авторы выражают благодарность организаторам/руководителям морских и полярных экспедиций за содействие в проведении исследований атмосферного аэрозоля над океаном, а также коллегам, которые участвовали в измерениях, — Н.И. Власову, А.В. Губину, Вас.В. Полькину, А.Н. Прахову, Д.Е. Савкину, С.А. Терпуговой, Ю.С. Турчиновичу.

Работа выполнена в рамках работ по Подпрограмме «Организация и обеспечение работ и научных исследований в Антарктике» ГП РФ «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 гг., Стратегии российского присутствия на архипелаге Шпицберген до 2020 года и при финансовой поддержке программ фундаментальных исследований Президиума РАН № 23 (до 2015 г.) и № 3 (2016 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев Г.В., Иванов Н.Е., Пнюшков А.В., Харланенкова Н.Е. Климатические изменения в морской Арктике в начале XXI века // Метеорологические и геофизические исследования. Серия: «Вклад России в Международный полярный год 2007/08» / Под ред. Г.В. Алексеева. М.: ООО «Паулсен», 2011. С. 6–28.

Виноградова А.А., Пономарева Т.Я. Атмосферный перенос антропогенных примесей в арктические районы России (1986–2010) // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 6. С. 475–483.

Виноградова А.А. Эмиссии антропогенного черного углерода в атмосферу: распределение по территории России // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 12. С. 1059–1065.

Виноградова А.А., Смирнов Н.С., Коротков В.Н., Романовская А.А. Лесные пожары в Сибири и на Дальнем Востоке: эмиссии и атмосферный перенос черного углерода в Арктику // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28. № 6. С. 512–520.

Голобокова Л.П., В.В. Польшин, Кабанов Д.М., Т.В. Ходжер, С.А. Терпугова, Д.Г. Чернов, Чипанина Е.В., Панченко М.В., Сакерин С.М. Исследования атмосферного аэрозоля в Арктических районах России // Лед и снег. 2013. № 2 (122). С. 129–136.

Ивлев Л.С. Аэрозольное воздействие на климатические процессы // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 5. С. 392–410.

Кабанов Д.М., Веретенников В.В., Воронина Ю.В., Сакерин С.М., Турчинович Ю.С. Информационная система для сетевых солнечных фотометров // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 1. С. 61–67.

Козлов В.С., Шмаргунов В.П., Польшин В.В. Спектрофотометры для исследования характеристик поглощения света аэрозольными частицами // Приборы и техника эксперимента. 2008. № 5. С. 155–157.

Кондратьев К.Я. Аэрозоль и климат: современное состояние и перспективы разработок. Ч. 3. Аэрозольное радиационное возмущающее воздействие // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19. № 7. С. 565–575.

Польшин В.В., Панченко М.В., Голобокова Л.П., Филиппова У.Г., Ходжер Т.В., Лисицын А.П., Шевченко В.П. Приводный аэрозоль Белого и Карского морей в августе 2007 г. // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Метеорологические и геофизические исследования. М.; СПб.: ООО «Паулсен», 2011. С. 199–214.

Польшин В.В., Польшин Вас. В., Голобокова Л.П., Панченко М.В., Терпугова С.А., Тихомиров А.Б. О межгодовой изменчивости широтного распределения микрофизических и химических характеристик приводного аэрозоля в восточной Атлантике в 2006–2010 годах // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 6. С. 519–524.

Сакерин С.М., Чернов Д.Г., Кабанов Д.М., Козлов В.С., Панченко М.В., Польшин В.В., Радионов В.Ф. Предварительные результаты исследований аэрозольных характеристик атмосферы в районе Баренцбурга (Шпицберген) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012а. № 1 (91). С. 20–31.

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 атмосферы и океана. 2012б. Т. 25. № 12. С. 1112–1117.

- Сакерин С.М., Власов Н.И., Кабанов Д.М., Лубо-Лесниченко К.Е., Прахов А.Н., Радионов В.Ф., Турчинович Ю.С., Holben B.N., Smirnov A.* Результаты спектральных измерений аэрозольной оптической толщины атмосферы солнечными фотометрами в 58-й Российской антарктической экспедиции // *Оптика атмосферы и океана*. 2013. Т. 27. № 12. С. 1059–1067.
- Сакерин С.М., Андреев С.Ю., Кабанов Д.М., Николашкин С.В., Прахов А.Н., Радионов В.Ф., Турчинович Ю.С., Чернов Д.Г., Holben B.N., Smirnov A., Sorokin M.G.* О результатах исследований аэрозольной оптической толщины атмосферы в арктических районах // *Оптика атмосферы и океана*. 2014. Т. 27. № 5. С. 413–423.
- Счетчик аэрозольных частиц АЗ-10. Руководство по эксплуатации. ЭКИТ7.830.000 РЭ. М., 2010. 13 с.
- Чернов Д.Г., Козлов В.С., Панченко М.В., Турчинович Ю.С., Радионов В.Ф., Губин А.В., Прахов А.Н.* Особенности изменчивости концентраций аэрозоля и сажи в приземном слое воздуха в Баренцбурге (Шпицберген) в 2011–2013 гг. // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2014. № 4 (102). С. 34–44.
- Шевченко В.П.* Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
- Шмаргунов В.П., Польшкин В.В.* Аэрозольный счетчик на базе АЗ-5 // *Приборы и техника эксперимента*. 2007. № 2. С. 165.
- Шмаргунов В.П., Козлов В.С., Тумаков А.Г., Польшкин В.В., Панченко М.В.* Автоматизированный аэрозольный нефелометр на базе ФАН // *Приборы и техника эксперимента*. 2008. № 5. С. 165.
- Eisenman I., Untersteiner N., Wettlaufer J.S.* On the reliability of simulated Arctic sea ice in Global Climate Models // *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34. L10501, doi:10.1029/2007GL029914.
- Grimm H., Eatough D.J.* Aerosol measurement: the use of optical light scattering for the 15 determination of particulate size distribution, and particulate mass, including the semi-volatile fraction // *J. Air Waste Manage.* 2009. Vol. 59. P. 101–107.
- Haywood J., Boucher O.* Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols: a review // *Rev. Geophys.* 2000. Vol. 38. P. 513–543.
- Huang L., Gong S.L., Sharma S., Lavoué D., Jia C.Q.* A trajectory analysis of atmospheric transport of black carbon aerosols to Canadian high Arctic in winter and spring (1990–2005) // *Atmos. Chem. Phys.* 2010. Vol. 10. P. 5065–5073. doi:10.5194/acp-10-5065-2010.
- IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. 1552 p. URL: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf [дата обращения август 2014].
- Johnson B., Shine K., Forster P.* The semi-direct aerosol effect: impact of absorbing aerosols on marine stratocumulus // *Q. J. Roy. Meteor. Soc.* 2004. Vol. 130. P. 1407–1422.
- Rahn K.A.* Relative importances of North America and Eurasia as sources of Arctic aerosol // *Atmos. Environ.* 1981. Vol. 15. P. 1447–1455.
- Sakerin S.M., Bobrikov A.A., Bukin O.A., Golobokova L.P., Polkin Vas.V., Polkin Vik.V., Shmirko K.A., Kabanov D.M., Khodzher T.V., Onischuk N.A., Pavlov A.N., Potemkin V.L., Radionov V.F.* On measurements of aerosol-gas composition of the atmosphere during two expeditions in 2013 along Northern Sea Route // *Atmos. Chem. Phys.* 2015. Vol. 15. Issue 21. P. 12413–12443. doi:10.5194/acp-15-1-2015.
- Tomasi C., Vitale V., Lupi A., Di Carmine C., Campanelli M., Herber A., Treffeisen R., Stone R.S., Andrews E., Sharma S., Radionov V.F., von Hoyningen-Huene W., Stebel R., Yansen G.H., Myhre C.L., Wehrli C., Aaltonen V., Lihavainen Y., Virkkula A., Hillamo R., Strom J., Toledano C., Cachorro V.E., Ortiz P., de Frutos A.M., Blindheim S., Frioud M., Gausa M., Zeielinski T., Petelski T., Yamanouchi T.* Aerosol in polar regions: A historical overview based on optical depth and in situ observations // *J. Geophys. Res.* 2007. Vol. 112. D16205. doi: 10.1029/2007JD008432.

Tomasi C., Lupi A., Mazzola M., Stone R.S., Dutton E.G., Herber A., Radionov V.F., Holben B., Sorokin M., Sakerin S.M., Terpugova S.A., Lanconelli C., Petkov B., Vitale V. An update of the long-term trend of aerosol optical depth in the polar regions using POLAR-AOD measurements performed during International Polar Year // *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 52. P. 29–47.

Tomasi C., Kokhanovsky A.A., Lupi A., Ritter C., Smirnov A., Mazzola M., Stone R.S., Lanconelli C., Vitale V., Holben B.N., Nyeki S., Wehrli C., Altonen V., de Leeuw G., Rodriguez E., Herber A.B., Stebel K., Stohl A., O'Neill N.T., Radionov V.F., Zielinski T., Petelski T., Sakerin S.M., Kabanov D.M., Xue Y., Mei L., Istomina L., Wagener R., McArthur B., Sobolewski P.S., Butler J., Kivi R., Courcoux Y., Larouche P., Broccardo S., Piketh S.J. Aerosol remote sensing in polar regions // *Earth-Science Reviews*. 2015. Vol. 140. P. 108–157.

Wang Q., Jacob D.J., Fisher J.A., Mao J., Leibensperger E.M., Carouge C.C., Le Sager P., Kondo Y., Jimenez J.L., Cubison M.J., Doherty S.J. Sources of carbonaceous aerosols and deposited black carbon in the Arctic in winter-spring: implications for radiative forcing // *Atmos. Chem. Phys.* 2011. Vol. 11. P. 12453–12473. doi:10.5194/acp-11-12453-2011.

S.M. SAKERIN, D.M. KABANOV, V.S. KOZLOV, V.V. POL'KIN, V.F. RADIONOV, D.G. CHERNOV

COMPARATIVE ANALYSIS OF ATMOSPHERIC AEROSOL IN POLAR REGIONS OF THE NORTHERN AND SOUTHERN HEMISPHERES

In recent decades, onboard scientific vessels, the authors carry out studies of microphysical and optical characteristics of atmospheric aerosol in high-latitude regions of ocean: mass concentrations of aerosol and “black carbon” in near-water atmospheric layer, disperse composition of particles, aerosol optical depth in wavelength range of 0.34–2.14 μm , and water vapor content of the atmosphere. There are summarized and comparatively analyzed the mean aerosol characteristics, obtained in the Southern Ocean (51st–59th RAE), 100-mile zone near Antarctica, and three regions of the Arctic Ocean. The specific features of the spatial distribution and time variations in aerosol parameters in polar regions are discussed.

Keywords: Aerosol, polar regions, aerosol optical depth, black carbon.