

# Результаты сравнительных исследований оптических, микрофизических характеристик и химического состава аэрозоля над акваторией Каспийского моря в 29-м и 41-м рейсах НИС «Рифт»

В.В. Польшкин<sup>1</sup>, Д.М. Кабанов<sup>1</sup>, С.М. Сакерин<sup>1</sup>, Л.П. Голобокова<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

<sup>2</sup>Лимнологический институт СО РАН

664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

Поступила в редакцию 19.03.2013 г.

Проводится сравнительный анализ характеристик атмосферного аэрозоля, полученных в Каспийском море на НИС «Рифт» в ноябре 2008 г. и в октябре 2012 г. в приводном слое и во всей толще атмосферы. Исследовались аэрозольная оптическая толщина в области спектра 0,3–2,14 мкм и общее влагосодержание атмосферы; счетная концентрация частиц и распределение частиц по размерам в диапазоне 0,3–20 мкм по диаметру; массовая концентрация субмикронного аэрозоля и массовая концентрация поглощающего аэрозоля – «сажи»; химический ионный состав растворимой части аэрозоля и газовых примесей –  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ .

*Ключевые слова:* приводный аэрозоль, аэрозольная оптическая толщина, счетная и массовая концентрации частиц, поглощающий аэрозоль – «сажа», химический ионный состав; near-water aerosol, aerosol optical depth, number concentration and mass concentration, absorbing aerosol – "black carbon (soot)", the chemical composition of the ion.

## Введение

Специфика аэрозольного состава атмосферы в районе Каспийского моря определяется генерацией частиц с морской поверхности, а также континентальными выносами из аридных районов Казахстана и Туркмении. В рамках программы 41-го рейса НИС «Рифт» в октябре 2012 г. проведен цикл исследований атмосферного аэрозоля в Каспийском море. Полученные характеристики аэрозоля были сравнены с данными, полученными в аналогичных условиях в ноябре 2008 г. [1]. Ниже приводятся результаты сравнения характеристик аэрозоля в приводном слое и во всей толще атмосферы для двух экспедиций, а также обсуждаются причины, приведшие к различию значений исследуемых характеристик.

## 1. Характеристика экспедиционных измерений

Разнообразие аэрозольного состава в районе измерений определялось особенностью образования час-

тиц над морской поверхностью («пузырьковый» механизм и сдувание брызг с гребней разбивающихся волн [2]) и континентальными выносами из аридных районов Казахстана и Туркмении [3]. По программе 29-го рейса НИС «Рифт» в 2008 г. исследования проводились в северной части Каспия в диапазоне 46–42° с.ш. [1]. В 41-м рейсе исследования захватывали и более южную акваторию до 38° с.ш., практически до территориальных вод Ирана. Кроме того, значительная часть данных в 41-м рейсе получена на месте стоянки судна (3–5 октября) в Астрахани и в Волго-Каспийском канале (6–18 октября). Карта-схема маршрута 41-го рейса НИС «Рифт» представлена на рис. 1, где указаны места проведения измерений характеристик приводного аэрозоля и аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы.

АОТ и общее влагосодержание атмосферы определялись с помощью портативного солнечного фотометра SPM [4], работающего в области спектра 0,3–2,14 мкм (14 каналов/интерференционных фильтров). Методики измерений и обработки данных представлены в [5, 6].

Измерения микрофизических параметров аэрозоля в приводном слое воздуха осуществлялись с помощью мобильного аэрозольного комплекса аппаратуры (аэрозольной станции), в состав которой входили фотоэлектрический счетчик частиц GRIMM 1.108

\* Виктор Викторович Польшкин (victor@iao.ru); Дмитрий Михайлович Кабанов (dkab@iao.ru); Сергей Михайлович Сакерин (sms@iao.ru); Людмила Петровна Голобокова (lg@lin.irk.ru).

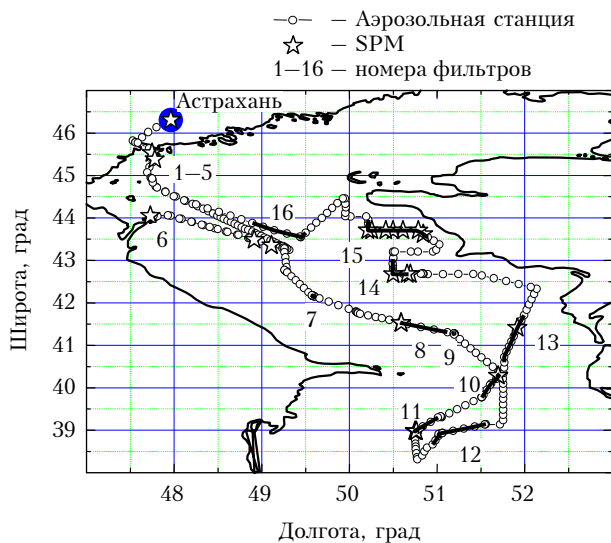


Рис. 1. Карта-схема маршрута 41-го рейса НИС «Рифт» (светлыми кружками по маршруту обозначены места измерений аэрозольной станцией, звездочками – фотометром SPM, цифрами и жирными отрезками – районы забора проб аэрозольного материала на фильтры)

(Германия) и аэталометр (разработка ИОА СО РАН) [7]. Счетчик GRIMM 1.108 измерял счетную концентрацию частиц  $N_a$  ( $\text{см}^{-3}$ ) и их распределение по размерам в диапазоне диаметров частиц  $d = 0,3 \div 20$  мкм, а также массовую концентрацию частиц аэрозоля  $M_a$  ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ) диаметром  $d > 0,27$  мкм. Аэталометр позволял измерять массовую концентрацию  $M_{\text{BC}}$  ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ) поглощающего вещества в аэрозоле («сажи» – BC) в диапазоне от 0,1 до 110  $\text{мкг}/\text{м}^3$  с чувствительностью около 0,1  $\text{мкг}/\text{м}^3$  при прокачке 20 л воздуха. Забор атмосферного воздуха для аэрозольной станции проводился на высоте около 6 м от водной поверхности по шлангам длиной не более 0,7 м для аэталометра и 0,5 м для счетчика, что позволяло добиваться минимальных потерь грубодисперсных частиц  $d > 1$  мкм.

Отбор проб атмосферного воздуха для химического анализа проводился аспиратором на баке судна примерно в 4 м от водной поверхности. В состав аспиратора входили блок фильтров и вакуумный насос НВМ-1.2 (Россия), который при полной зарядке аспирационного блока из четырех последовательно расположенных фильтров развивал скорость прокачки более 20 л · мин<sup>-1</sup>. Накопление аэрозоля на фильтры составляло 7–10 ч. Химический анализ собранных проб осуществлялся в лабораторных условиях по методикам, используемым в [8]. Определялись ионный состав  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$  и концентрация газообразных соединений  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ .

Более подробно методики измерений и обработки данных аэрозольной станции и проб на фильтрах представлены в [9, 10].

В отличие от 29-го рейса в 41-м на аэрозольной станции работал более чувствительный счетчик частиц, позволявший определять счетную  $N_{a,0,3}$  и массовую  $M_{a,0,3}$  концентрации частиц  $d > 0,3$  мкм. Массо-

вая концентрация аэрозоля в 29-м рейсе измерялась с помощью фотометра ФАН [11], который определял массу аэрозоля для всего субмикронного диапазона частиц, поэтому значения  $M_a$  (ФАН) заведомо были выше значений  $M_{a,0,3}$ . Массовая концентрация «сажи»  $M_{\text{BC}}$  определялась однотипными аэталометрами.

## 2. Характеристики АОТ атмосферы

Наблюдения солнечным фотометром осуществлялись в период с 3 по 31 октября. Районы проведения измерений фотометра по маршруту судна (на середину дня) отмечены на рис. 1 звездочками. Всего за время экспедиции выполнено 67 «серий» измерений, каждая из которых включала 5–10 единичных замеров. После процедур фильтрации данных, искаженных влиянием облачности [5], для интерпретации было отобрано 60 «серий» за 16 дней наблюдений. В анализе использовались характеристики атмосферной толщи, усредненные за часовые и дневные промежутки времени: спектральные АОТ  $\tau_{\lambda}^a$ , параметры Ангстрема  $\alpha$  и  $\beta$ , влагосодержание  $W$ , а также мелко- и грубодисперсные компоненты АОТ [12] –  $\tau_{0,5}^f$  и  $\tau^c$  соответственно.

Из графиков временного хода характеристик атмосферной толщи (рис. 2, а) видно, что среднедневные значения АОТ ( $\lambda = 0,5$  мкм) изменялись в диапазоне от 0,082 до 0,284. При этом параметр Ангстрема  $\alpha$ , характеризующий селективность спектральной зависимости АОТ в диапазоне длин волн 0,44–0,87 мкм, варьировал в пределах 0,71–1,44, а влагосодержание атмосферы – от 0,808 до 2,834 г/см<sup>2</sup>.

В пространственном распределении (рис. 2, б) несколько большие значения АОТ и влагосодержания атмосферы наблюдались в юго-восточной части маршрута. Однако из-за небольшого числа полученных данных отдельные районы для анализа не выделялись, а статистические характеристики рассчитывались только для общего массива. На рис. 3 иллюстрируются средние спектральные зависимости АОТ, полученные в 41-м рейсе НИС «Рифт», в сопоставлении с аналогичными данными в 29-м рейсе (средние  $\pm$ СКО выделены серым тоном).

Видно, что АОТ в 29-м рейсе во всем диапазоне спектра отличалась меньшими значениями (примерно на 0,04) при большем диапазоне вариаций.

Количественное отличие основных характеристик атмосферной толщи в двух рейсах можно проследить по данным табл. 1. Сравнение показывает, что все характеристики АОТ (за исключением  $\tau_{0,5}^f$ ) различаются существенно. В первую очередь это касается грубодисперсной компоненты АОТ (превышение в 5 раз), что, собственно, и привело к снижению показателя селективности  $\alpha$ .

Относительно большое различие характеристик АОТ поставило вопрос – насколько представительны полученные данные для анализируемого района при малой продолжительности наблюдений в двух рейсах (11 и 16 дней)? Спектральных измерений АОТ атмосферы в этом регионе, по нашей информации, не проводилось.

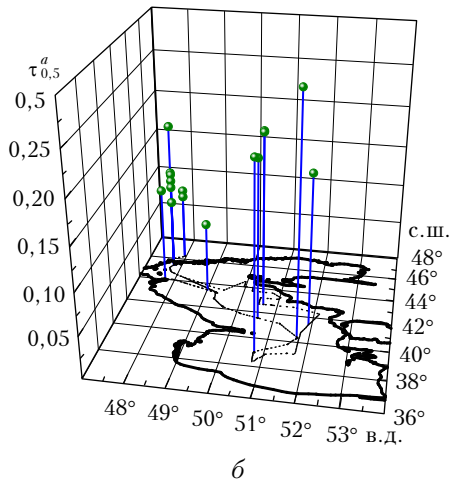
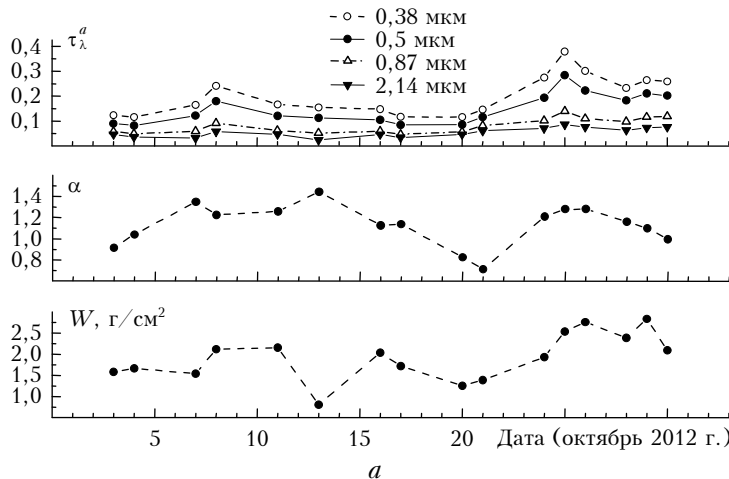


Рис. 2. Межсуточные вариации  $\tau_{\lambda}^a$ ,  $\alpha$  и  $W$  в 41-м рейсе НИС «Рифт» (а) и пространственное распределение  $\tau_{0,5}^a$  по маршруту рейса (б)

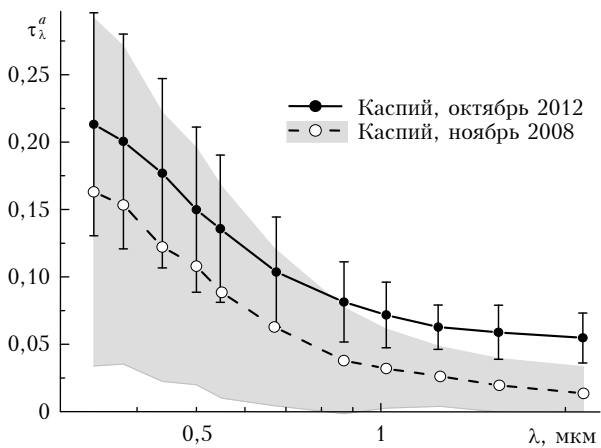


Рис. 3. Сравнение средних ( $\pm$  СКО) спектральных зависимостей  $\tau^a(\lambda)$  в 29-м (ноябрь) и 41-м (октябрь) рейсах НИС «Рифт»

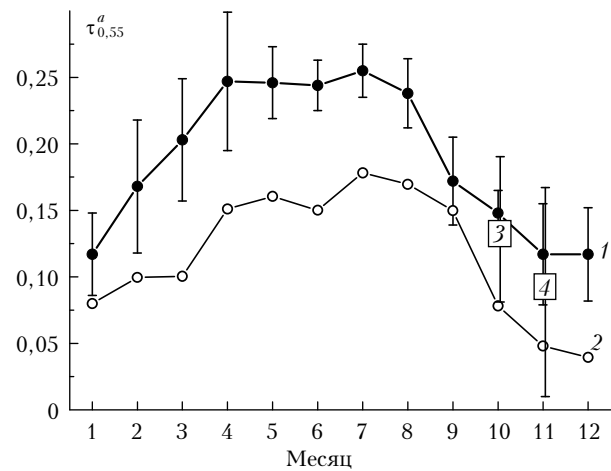


Рис. 4. Годовой ход  $\tau_{0,55}^a$  по многолетним данным спутниковых (1) и актинометрических (2) наблюдений в районе Астрахани [12] и сравнение со средними значениями  $\tau_{0,55}^a$  в 41-м (3) и 29-м (4) рейсах НИС «Рифт»

Таблица 1

Средние ( $\pm$  СКО) значения характеристик аэрозоля за весь период измерений в 41-м рейсе НИС «Рифт» в сравнении с данными 29-го рейса [1]

Параметр	41-й рейс (октябрь 2012)	29-й рейс (ноябрь 2008)
$\tau_{0,5}^a$	$0,15 \pm 0,06$	$0,108 \pm 0,036$
$\alpha$	$1,13 \pm 0,20$	$1,83 \pm 0,42$
$\beta$	$0,068 \pm 0,025$	$0,032 \pm 0,033$
$\tau_{0,5}^f$	$0,095 \pm 0,046$	$0,098 \pm 0,033$
$\tau^e$	$0,054 \pm 0,018$	$0,010 \pm 0,004$
$W$ , г/см <sup>2</sup>	$1,93 \pm 0,55$	$0,97 \pm 0,32$
$N_{a,0,4}$ , см <sup>-3</sup>	$4,47 \pm 2,68$	$15,7 \pm 14,6$
$N_{a,0,3}$ , см <sup>-3</sup>	$20,8 \pm 13,4$	—
$M_a$ (ФАН), мкг/м <sup>3</sup>	—	$17,7 \pm 21,4$
$M_{a,0,3}$ , мкг/м <sup>3</sup>	$2,39 \pm 1,53$	—
$M_{bc}$ , мкг/м <sup>3</sup>	$0,282 \pm 0,160$	$0,41 \pm 0,40$

Примечание.  $N_{a,0,4}$  — счетная концентрация частиц  $d > 0,4$  мкм;  $N_{a,0,3}$  — счетная концентрация частиц  $d > 0,3$  мкм;  $M_a$  (ФАН) — массовая концентрация субмикронного аэрозоля (измерялась фотометром ФАН только в 29-м рейсе);  $M_{a,0,3}$  — массовая концентрация частиц  $d > 0,3$  мкм.

Поэтому для сравнения были привлечены результаты восстановления АОТ в середине видимой области спектра (0,55 мкм) по многолетним данным актинометрических наблюдений в районе Астрахани [12] и спутниковых измерений спектрометром MODIS [13] (спутники TERRA и AQUA, коллекции 5.1 [14]). Среднемесячные значения  $\tau_{0,55}^a$  (спутниковые данные) рассчитывались за период 2001–2011 гг. для территории 45–48° с.ш., 46–54° в.д., включающей южную часть Астраханской области и северную акваторию Каспийского моря (данные для более южных районов на сайте [13] отсутствуют).

Годовой ход значений  $\tau_{0,55}^a$  по спутниковым («Северный Каспий») и актинометрическим (Астрахань [12]) данным иллюстрируется на рис. 4. Из сравнения этих данных следует, что характер годового хода АОТ одинаков, но абсолютные значения  $\tau_{0,55}^a$  по актинометрическим измерениям меньше, чем по спутниковым.

Что касается результатов наших судовых измерений  $\tau_{0,55}^a$  (3 и 4 на рис. 4), то они находятся между

спутниковыми данными для района «Северный Каспий» и актинометрическими — для Астрахани. Конечно, это не строгое сравнение, так как спутниковые и актинометрические данные относятся к разным пространственным масштабам и периодам усреднения. Тем не менее полученные оценки свидетельствуют о том, что результаты экспедиционных измерений спектральных АОТ соответствуют действительности.

Отметим также, что рассмотренные спутниковые значения АОТ для района «Северный Каспий» в теплый период (особенно в мае–июле) оказались заметно больше, чем в более северном регионе «Южное Поволжье» (46–55° с.ш., см. [15]). Указанное превышение в целом согласуется с ростом АОТ в южном направлении [12] и для исследованного района объясняется, по-видимому, дополнительным вкладом пылевого аэрозоля, который выносится со стороны Казахстана и Туркмении.

Таким образом, несмотря на различие характеристик АОТ в двух экспедициях (29-й и 41-й рейсы), есть основания считать, что полученные данные отражают реальные особенности изменчивости аэрозоля в рассматриваемом районе.

### 3. Содержание аэрозоля и «сажи» в приземном слое атмосферы

Места измерений микрофизических характеристик аэрозоля по маршруту рейса показаны на рис. 1.

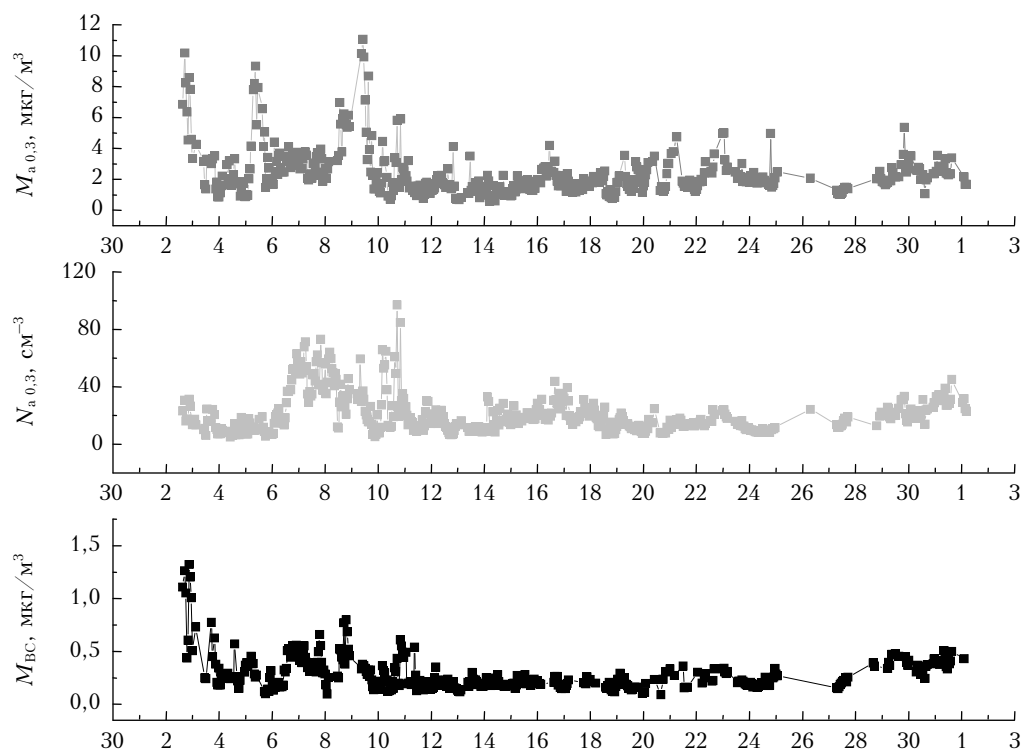
С 3 по 31 октября проведено более 700 серий измерений  $N_a$ ,  $M_a$ ,  $M_{BC}$ . После отбраковки замеров, искаженных влиянием локальных источников аэрозоля (дым от трубы, выбросы из вентиляционных шахт), для анализа было оставлено около 66% исходных данных. На рис. 5 показан временной ход  $N_a$ ,  $M_a$ ,  $M_{BC}$  в 41-м рейсе НИС «Рифт».

С учетом различий геофизических условий в период рейса были рассмотрены средние значения аэрозольных параметров на трех отдельных этапах: 1) во время стоянки судна в Астрахани 3–5 октября; 2) в Волго-Каспийском канале 6–18 октября; 3) с 19 октября — измерения непосредственно в море. Из табл. 2 и рис. 5 видно, что наибольшие средние значения массовых концентраций аэрозоля и «сажи» наблюдались на 1-м этапе, когда судно находилось в городской зоне. При выходе судна в канал и море  $M_{BC}$  и  $M_{a0,3}$  уменьшились на 50–60%. Иначе распределлась по этапам счетная концентрация аэрозоля.

Таблица 2

Средние ( $\pm$  СКО) значения характеристик приводного аэрозоля в разные периоды (этапы) измерений

Этап	Параметр		
	$M_{a0,3}$ , мкг/м <sup>3</sup>	$M_{BC}$ , мкг/м <sup>3</sup>	$N_{a0,3}$ , см <sup>-3</sup>
1-й (3–5 октября)	3,49 $\pm$ 2,55	0,42 $\pm$ 0,30	12,4 $\pm$ 6,40
2-й (6–18 октября)	2,26 $\pm$ 1,53	0,26 $\pm$ 0,13	25,1 $\pm$ 15,9
3-й (с 19 октября)	2,26 $\pm$ 0,71	0,25 $\pm$ 0,09	16,8 $\pm$ 8,00



Октябрь, 2012 г.

Рис. 5. Временной ход параметров приводного аэрозоля в 41-м рейсе НИС «Рифт»: массовая концентрация «сажи»  $M_{BC}$ , массовая  $M_{a0,3}$  и счетная  $N_{a0,3}$  концентрации аэрозоля в диапазоне диаметров частиц 0,3–20 мкм

Максимальные средние значения  $N_{a,03}$  наблюдались на 2-м этапе, когда на аэрозоль воздействовала высокая относительная влажность воздуха (туманы), увеличивая счетную концентрацию субмикронных частиц и не изменяя счетную концентрацию грубодисперсных частиц, которые определяют в основном массу аэрозоля.

Средние значения параметров приводного аэрозоля за весь период измерений в сравнении с аналогичными характеристиками в 29-м рейсе представлены в табл. 1. Сопоставление результатов двух экспедиций показало, что концентрации аэрозоля и сажи в 41-м рейсе были ниже, чем в 29-м: для  $N_{a,0,4}$  в 3,5 раза, для  $M_{BC}$  в 1,5 раза. Об этом же свидетельствует сравнение средних функций распределения частиц по объемам (рис. 6): в 41-м рейсе наблюдались меньшие значения  $dV/dr$  во всем диапазоне размеров. Особенно велико отличие  $dV/dr$  в области крупных частиц ( $r > 1$  мкм) – в 10 раз и более.

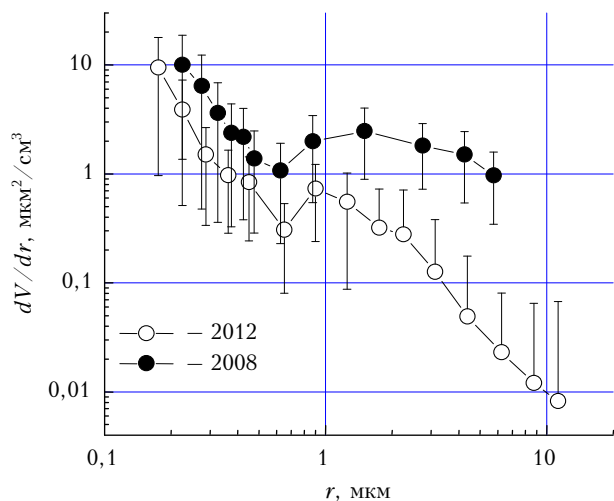


Рис. 6. Средние распределения частиц по объемам в 41-м и 29-м рейсах НИС «Рифт»

Обратим внимание, что параметры приводного аэрозоля и АОТ атмосферы имеют противоположные различия в двух экспедициях (см. табл. 1) – АОТ в 41-м рейсе больше, а концентрации меньше, чем в 29-м рейсе. Для выяснения причин «противоречивого поведения» характеристик аэрозоля были рассмотрены данные траекторного анализа, выполненного на основе модели NOAA HYSPLIT [16].

Анализ карт обратных траекторий показал, что выносы воздушных масс в район измерений в 29-м рейсе [1] происходили в большинстве случаев со стороны пустыни Каракумы на малых высотах (до 500 м) с постепенным оседанием крупных пылевых частиц ( $d > 1$  мкм), что и приводило к увеличению концентрации аэрозоля в приводном слое.

Во время 41-го рейса переносы воздуха, в основном, происходили на больших высотах (более 500 м): до 18 октября со стороны европейской территории России, а с 21 октября – со стороны Туркмении и Казахстана. Причем в данных траекторного анализа процесс оседания воздуха (и стока частиц) в явном виде не прослеживается. Поэтому выносы континентального аэрозоля в район измерений проявились в повышенных значениях АОТ атмосферы, но не повлияли на концентрацию аэрозоля в приводном слое атмосферы.

#### 4. Ионный состав аэрозоля и газовые примеси

Заборы проб приводного аэрозоля аспиратором на блок фильтров для последующего химического анализа выполнялись с 14.10 по 31.10.2012. За время рейса получено и проанализировано 16 проб аэрозоля: в Волго-Каспийском канале (14–18 октября) – пробы № 1–5, в морской акватории (21–31 октября) – пробы № 6–16. Статистические характеристики концентраций ионов и соединений в 41-м и 29-м рейсах НИС «Рифт» представлены в табл. 3.

Таблица 3

Средние, СКО, минимальные (min) и максимальные (max) значения концентраций (мкг/м³) ионов и соединений, измеренных в двух рейсах НИС «Рифт»

Химический элемент	29-й рейс (ноябрь 2008)			41-й рейс (октябрь 2012)		
	Среднее ± СКО, мкг/м³	min	max	Среднее ± СКО, мкг/м³	min	max
1	2	3	4	5	6	7
<i>Анионы</i>						
Cl <sup>-</sup>	0,63	0,10	1,71	0,42 ± 0,51	0,09	2,18
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,28	0,12	2,34	1,20 ± 0,56	0,39	2,19
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,36	0,37	3,86	0,63 ± 0,48	0,16	2,13
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	—	—	—	0,13 ± 0,093	0,014	6,0
F <sup>-</sup>	—	—	—	0,008 ± 0,011	0,001	0,043
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	—	—	—	н/о	—	—
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,23	0,51	5,81	н/о	—	—
<i>Катионы</i>						
Na <sup>+</sup>	0,37 ± 0,26	0,07	0,84	0,07 ± 0,07	0,02	0,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,55 ± 0,55	0,08	1,79	0,39 ± 0,16	0,15	0,8
K <sup>+</sup>	0,11 ± 0,04	0,05	0,18	0,08 ± 0,05	0,03	0,19
Mg <sup>2+</sup>	0,08 ± 0,06	0,01	0,20	0,06 ± 0,06	0,003	0,24

1	2	3	4	5	6	7
Ca <sup>2+</sup>	0,29 ± 0,22	0,01	0,72	<b>0,43 ± 0,37</b>	0,05	1,28
H <sup>+</sup>	0,004 ± 0,002	0,001	0,007	0,003 ± 0,002	0,0004	0,006
Сумма ионов	5,21 ± 3,26	1,32	11,5	3,34 ± 1,75	1,18	6,73
<i>Газовые примеси</i>						
HCl	0,78 ± 0,24	0,47	1,39	<b>2,13 ± 0,48</b>	1,24	2,84
HNO <sub>3</sub>	0,49 ± 0,25	0,21	0,82	<b>0,71 ± 0,39</b>	0,26	1,53
SO <sub>2</sub>	5,02 ± 3,31	1,18	12,71	1,18 ± 0,99	0,22	3,24
NH <sub>3</sub>	7,17 ± 4,09	3,98	18,78	1,67 ± 0,46	1,04	2,44

Примечание. «н/о» – не обнаружены; «–» – не определялись.

Обращает на себя внимание тот факт, что концентрации практически всех ионов в аэрозоле и газовых соединений в атмосфере исследуемых районов в ноябре 2008 г. выше, чем в октябре 2012 г., и при сравнении согласуются с данными микрофизических параметров ( $N_a$ ,  $M_a$ ,  $M_{BC}$  и функции распределения частиц по размерам). Исключение составляют концентрации Ca<sup>2+</sup>, HCl и HNO<sub>3</sub>, величины которых выше в 2012 г. (выделены жирным шрифтом).

Рассмотрим изменчивость концентраций химических составляющих на различных участках маршрута 41-го рейса (рис. 1 и 7) относительно своих средних значений.

На участках, расположенных вблизи континента (фильтры 1–5, 15), наблюдаются повышенные, относительно средних значений, концентрации SO<sub>2</sub> и HCl, ионов K<sup>+</sup> и NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. В районе сильного волнения моря (фильтр 6) резко увеличивается суммарная

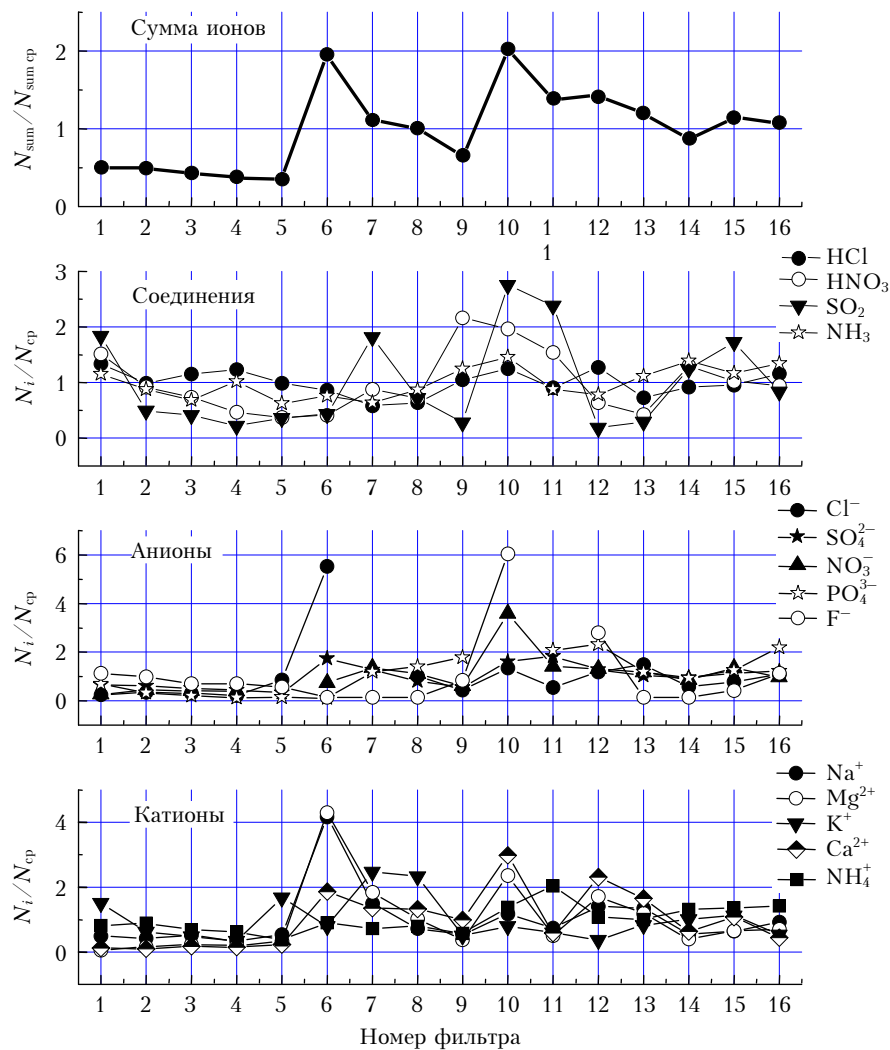


Рис. 7. Концентрации ионов и газовых соединений, нормированные на свои средние значения в 41-м рейсе. Номера фильтров на рисунке соответствуют номерам фильтров на рис. 1

концентрация ионов с 0,35 (фильтр 5) до 1,94 мкг/м<sup>3</sup> (фильтр 6), главным образом за счет увеличения концентраций ионов Cl<sup>-</sup> и Na<sup>+</sup>. В южных районах, подверженных выносам пылевого аэрозоля со стороны туркменских пустынь (фильтры 10–13), наблюдаются повышенные значения SO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, F<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> и NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Долевой вклад источников континентального аэрозоля [17] в формирование химического состава приводного аэрозоля для всех фильтров колебался от 83 до 98%, составляя в среднем 90%. Следовательно, химический состав приводного аэрозоля в 41-м рейсе формировался главным образом из континентальных частиц. В 29-м рейсе величина долевого вклада источников континентального аэрозоля изменялась от 27 до 96% при среднем значении 69%.

Для оценки роли морской воды как источника частиц в формировании химического состава аэрозолей для каждой пробы аэрозоля были рассчитаны коэффициенты обогащения (КО) [18] ионами не морского происхождения относительно среднего состава морской воды. Расчеты показали, что наиболее сильное обогащение аэрозоля ионами не морского происхождения наблюдалось для ионов Ca<sup>2+</sup> (среднее значение КО = 160, минимальное – 41, максимальное – 403), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (ср. КО = 81, min = 28, max = 164) и K<sup>+</sup> (ср. КО = 40, min = 6, max = 94). Рассчитанные КО для ионов Cl<sup>-</sup> и Mg<sup>2+</sup> принимали значения меньше 10.

### Заключение

Сравнительный анализ характеристик атмосферного аэрозоля, полученных в Каспийском море на НИС «Рифт» в ноябре 2008 г. (29-й рейс) и в октябре 2012 г. (41-й рейс) в приводном слое и во всей толще атмосферы, показал следующее.

Средние значения АОТ, измеренные в 41-м рейсе, существенно больше, чем в 29-м. Различие в основном обусловлено повышенной величиной грубодисперсной компоненты АОТ в ноябре 2012 г. Значения АОТ в середине видимого диапазона спектра, полученные в 29-м и 41-м рейсах, хорошо согласуются с многолетними данными актинометрических наблюдений в Астрахани и результатами спутниковых измерений в районе Северного Каспия.

Для микрофизических данных и ионного состава приводного аэрозоля наблюдается обратная картина – превышение значений аэрозольных характеристик в 29-м рейсе по сравнению с 41-м. На основе траекторного анализа воздушных масс показано, что противоположное различие в двух рейсах АОТ и приводных концентраций аэрозоля можно объяснить разными высотами переноса и стока континентального аэрозоля в районах измерений: в 29-м рейсе (в отличие от 41-го) выносы пылевого аэрозоля со стороны пустыни Каракумы происходили на малых высотах и сопровождалась оседанием крупных частиц.

1. Польшкин В.В., Кабанов Д.М., Панченко М.В., Сакерин С.М., Турчинович С.А., Шмаргунов В.П., Рос-

тов А.П., Голобокова Л.П., Ходжер Т.В., Филиппова У.Г., Шевченко В.П., Лисицын А.П. Результаты исследований характеристик аэрозоля в акватории Каспийского моря в 29-м рейсе НИС «Рифт» // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 9. С. 831–837.

2. Химия нижней атмосферы / Под ред. С. Расула. М.: Мир, 1976. 408 с.
3. Кондратьев К.Я., Григорьев Ал.А., Покровский О.М., Шалина Е.В. Космическое дистанционное зондирование атмосферного аэрозоля. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 216 с.
4. 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.
5. Кабанов Д.М., Веретенников В.В., Воронина Ю.В., Сакерин С.М., Турчинович Ю.С. Информационная система для сетевых солнечных фотометров // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 1. С. 61–67.
6. Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России / Под общей ред. С.М. Сакерина. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2012. 484 с.
7. Козлов В.С., Шмаргунов В.П., Польшкин В.В. Спектрофотометры для исследования характеристик поглощения света аэрозольными частицами // Приборы и техн. эксперим. 2008. № 5. С. 155–157.
8. Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Моложникова Е.В., Макухин В.Л., Оболкин В.А., Мариняйте И.И., Горшков А.Г., Кобелева Н.А., Потемкин В.Л. Глава 1. Мониторинг атмосферных аэрозолей Сибири и арктического бассейна России // Интеграционные проекты СО РАН. Аэрозоли Сибири. 2006. Вып. 9. С. 58–148.
9. Польшкин В.В., Козлов В.С., Турчинович Ю.С., Шмаргунов В.П. Сравнительный анализ микрофизических характеристик аэрозоля в морских и прибрежных районах Приморья // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 6. С. 538–546.
10. Польшкин В.В., Голобокова Л.П. Сравнительные исследования химического состава аэрозоля в комплексных экспериментах в Приморье // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 8. С. 675–683.
11. Шмаргунов В.П., Козлов В.С., Тумаков А.Г., Польшкин В.В., Панченко М.В. Автоматизированный аэрозольный нефелометр на базе ФАНа // Приборы и техн. эксперим. 2008. № 5. С. 165.
12. Ярхо Е.В. Особенности внутригодовой изменчивости аэрозольной оптической толщины атмосферы в различных климатических регионах // Оптика атмосфер. и океана. 1995. Т. 8, № 7. С. 1063–1072.
13. URL: [http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance\\_id=MODIS\\_MONTHLY\\_L3](http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=MODIS_MONTHLY_L3)
14. URL: [http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/\\_docs/Collection\\_051\\_Changes\\_v1.pdf](http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/_docs/Collection_051_Changes_v1.pdf)
15. Сакерин С.М., Андреев С.Ю., Бедарева Т.В., Кабанов Д.М., Поддубный В.А., Лужецкая А.П. Пространственно-временная изменчивость аэрозольной оптической толщи атмосферы на территории Поволжья, Урала и Западной Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 11. С. 958–962.
16. URL: <http://www.ready.noaa.gov/ready/hysplit4.html>
17. Польшкин В.В., Щелканов Н.Н., Голобокова Л.П., Панченко М.В. Сравнение методик оценки вклада континентальных и морских источников в ионный состав приводного аэрозоля Белого моря // Оптика атмосфер. и океана. 2008. Т. 21, № 1. С. 23–26.
18. Бримблкомб П. Состав и химия атмосферы. М.: Мир, 1988. 351 с.

*V.V. Pol'kin, D.M. Kabanov, S.M. Sakerin, L.P. Golobokova.* **Results of comparative studies of the optical, microphysical, and chemical composition of the near-water atmospheric aerosol over the Caspian Sea in the 29th and 41st cruises of the RV "Rift".**

A comparative analysis of the characteristics of the aerosol obtained in the Caspian Sea on the RV "Rift" in November 2008 and in October 2012, in the near-water atmospheric layer and throughout the entire thickness of the atmosphere. Under study were: aerosol optical depth (AOD in the wavelength range 0.3–2.14 microns) and the columnar water vapor of the atmosphere, particle number concentration and particle size distribution in the range of 0.3–20 microns in diameter, the mass concentration of submicron aerosol mass concentration and absorbing aerosol – "soot", chemical ionic composition of the soluble part of aerosols and trace gases –  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ .