

Измерение содержания сажевого аэрозоля над водной поверхностью в Южном и Северном полушариях

В.М. Копейкин¹, И.А. Репина¹, Е.И. Гречко¹, Б.И. Огородников^{2*}

¹Учреждение Российской академии наук Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

²Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова
105064, г. Москва, ул. Воронцово Поле, 10

Поступила в редакцию 29.01.2010 г.

Представлены результаты измерения массовой концентрации сажи в приводном слое атмосферы в двух рейсах научно-экспедиционного судна «Академик Федоров» (с 25 сентября по 23 октября 1998 г. по маршруту Санкт-Петербург – Земля Франца-Иосифа и с 8 ноября 1999 г. по 30 апреля 2000 г. по маршруту Санкт-Петербург – Антарктида – Южной океан), в 27-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Иоффе» (с 6 апреля по 19 мая 2009 г. от г. Ушуайя (Огненная Земля) до порта Гданьск (Польша)) и на антарктической станции Беллинсгаузен (с 20 декабря 2001 г. по 11 марта 2002 г.). Показано, что содержание сажи в воздухе в Северном Ледовитом океане в октябре 1998 г. сравнимо со значениями, полученными на стационарных станциях в 1989–1992 гг. Наблюдается широтная зависимость содержания сажи (уменьшение концентрации сажи с ростом широты) в Южном полушарии. Средняя концентрация сажи на ст. Беллинсгаузен и в Южном океане составляет 19–28 нг/м³ и сопоставима с уровнем загрязнения зарубежных станций Мак-Мёрдо и Ферраз.

Ключевые слова: радиационно-климатические процессы, аэрозоль, сажа, загрязнение атмосферы, пространственно-временная изменчивость; radiation and climatic processes, aerosol, soot, air pollution, spatio-temporal variability.

Введение

Сажевый аэрозоль играет важную роль в радиационно-климатических процессах. В последние 20–30 лет наблюдения за содержанием сажи в нижнем слое атмосферы по всему земному шару регулярно осуществляются на стационарных станциях мониторинга. Картина содержания сажевого аэрозоля существенно расширяется за счет проведения измерений над водной поверхностью морей и океанов на научно-исследовательских судах разных стран, что позволяет дополнительно получать ценную информацию о содержании сажевого аэрозоля как в чистых фоновых районах, так и в районах, подверженных воздействию антропогенных источников аэрозоля.

Ранее, в 1989–1992 гг., Институт физики атмосферы РАН проводил исследование пространственных и временных вариаций концентрации сажевого аэрозоля в Арктике, в фоновых районах Северной Атлантики (1990 г., 55-й рейс научно-исследовательского судна (НИС) «Академик

Визе») и на стационарных постах наблюдения в Арктике (Северная Земля, о. Врангеля и о. Четырехстолбовой) [1].

В настоящей статье представлены результаты измерений сажевого аэрозоля в рейсе научно-экспедиционного судна (НЭС) «Академик Федоров», состоявшемся с 25 сентября по 23 октября 1998 г. по маршруту Санкт-Петербург – Земля Франца-Иосифа. Второй рейс на НЭС «Академик Федоров» осуществлялся с 8 ноября 1999 г. по 30 апреля 2000 г. по Атлантическому океану от Санкт-Петербурга до Антарктиды, затем по Южному океану вдоль Антарктиды в широтах 64–71,4° ю.ш. на протяжении долгот от 12° з.д. до 92° в.д. При подходе судна к антарктическим станциям Мирный, Прогресс и Новолазаревская на их территории также проводились измерения концентрации сажи. На обратном пути от Антарктиды до Санкт-Петербурга измерения концентрации сажи велись на участке от 31° ю.ш. до 27° с.ш. Третья экспедиция, 27-й рейс НИС «Академик Иоффе» Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова, состоялась с 6 апреля по 19 мая 2009 г. от г. Ушуайя (Огненная Земля) до порта Гданьск (Польша). С 20 декабря 2001 по 11 марта 2002 г. проводились измерения на стационарном пункте – на антарктической станции Беллинсгаузен.

* Владимир Михайлович Копейкин (kopeikin@ifaran.ru); Ирина Анатольевна Репина (iar.ifaran@gmail.com); Евгений Иванович Гречко (eigrechko@gmail.com); Борис Иванович Огородников (ogorod4@rambler.ru).

Методика измерений

Для отбора аэрозольных проб над водной поверхностью применялся пробоотборник, специально разработанный для эксплуатации в экспедиционных условиях. Он состоял из насоса, узла держателя фильтра (аллонжа), позволяющего быстро менять фильтры, и ротаметра для измерения объема прокачиваемого воздуха. Пробы аэрозоля в рейсе 45-й РАЭ (Российская антарктическая экспедиция) и на ст. Беллинсгаузен отбирались на волоконные фильтры двух типов: однослойные фильтры АФА-ХП и комплекты трехслойных фильтров, подготовленные в Научно-исследовательском физико-химическом институте им. Л.Я. Карпова (материал волокон — ацетилцеллюлоза). Оба типа фильтров позволяют получать массовую концентрацию сажи, а второй тип — еще и дисперсный состав атмосферных аэрозольных частиц. В экспедициях 1998 и 2009 гг. использовались только фильтры первого типа. Площадь фильтров равнялась 1 и 2 см², соответственно скорость прокачки воздуха поддерживалась постоянной — 6 и 12 л/мин, время отбора каждой пробы составляло 12–24 ч, а в отдельных случаях 2–3 сут. Место отбора проб выбиралось в передней части кораблей на наветренной стороне, на высоте над уровнем моря приблизительно 20 м. На ст. Беллинсгаузен пробоотборник располагался в павильоне Аэрологии на расстоянии 500 м от основных строений станции, в том числе и от дизельной электростанции, на высоте 150 м над уровнем моря. Отбор воздуха осуществлялся на высоте 5 м от земной поверхности. С помощью фотометра ИФА проводились измерения поглощения света аэрозольными пробами, по методике [2] определяли массовую концентрацию сажи, по методике [3] — дисперсный состав атмосферных аэрозольных частиц и долю эквивалента массовой концентрации сажи. Во всех экспедициях осуществлялось измерение метеорологических параметров (скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха) и радиационных характеристик (фактор мутности Линке и т.д.).

Обсуждение результатов измерений

1. Арктика

Измерения концентрации сажи в рейсе НЭС «Академик Федоров» осуществлялись по маршруту Санкт-Петербург — Земля Франца-Иосифа и в районах с многолетним заснеженным льдом, среди «молодого» льда и на открытой воде около Земли Франца-Иосифа в 1998 г. для периодов проведения измерений 25 сентября — 6 октября, 7–16 октября, 17–20 октября и 22–23 октября соответственно. С помощью модели HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) были построены обратные траектории переноса воздушных масс [4].

В местах измерения сажи с 25 сентября по 6 октября 1998 г. по маршруту Санкт-Петербург — Баренцево море, когда траектории проходили через

территории стран, расположенных вокруг Балтийского моря, концентрация сажи сильно варьировала, меняясь от 110 до 7940 нг/м³. Заметного влияния на результаты измерения концентрации сажи выхлопов двигателей корабля при движении в многолетнем заснеженном льду не наблюдалось.

При перемещении воздушных масс 6–16 октября с северного и юго-восточного направлений и 17–23 октября с восточного направления содержание сажи в воздухе было низким: 10–250 нг/м³, а в среднем 160 нг/м³. В случаях, когда воздушные массы приходили из Западной Сибири, загрязнение воздуха сажей увеличивалось до 660–1650 нг/м³, а в среднем до 980 нг/м³.

В целом, уровень содержания сажевого аэрозоля в воздушном пространстве Российской Арктики вблизи Земли Франца-Иосифа в октябре 1998 г. сравним с уровнем, наблюдавшимся на стационарных пунктах измерения в 1989–1992 гг. (6–500 нг/м³, а среднегодовое 70 нг/м³).

2. Атлантический океан

Измерения содержания сажи в приводном слое атмосферы в ноябре 1999 г. показали (рис. 1, а), что концентрация сажи уменьшается в Южном полушарии с 96 нг/м³ на 3° ю.ш. до 23 нг/м³ на 63° ю.ш.

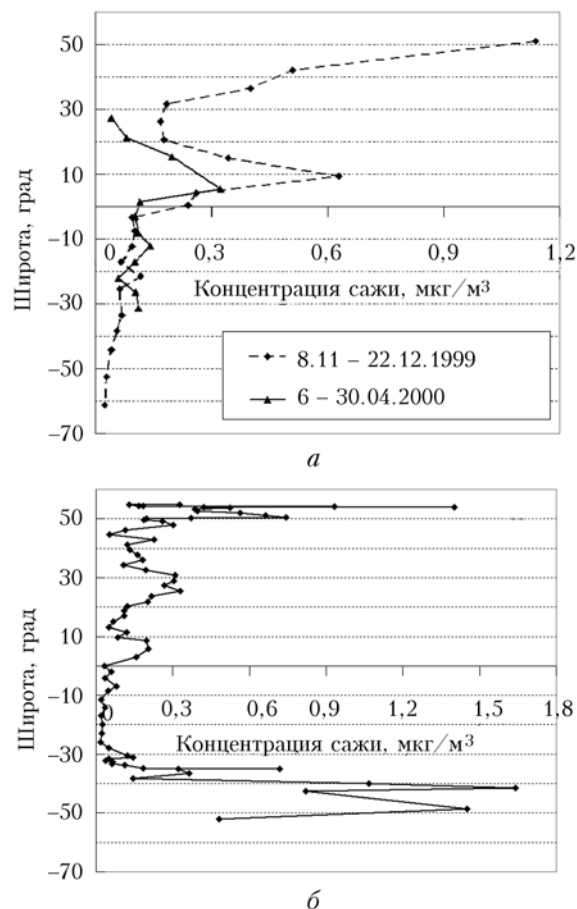


Рис. 1. Вариации концентрации сажи в приводном слое атмосферы: а — 45-я РАЭ НЭС «Академик Федоров»; б — 27-й рейс НИС «Академик Иоффе» 6.04–19.05.2009

От экватора до 25° ю.ш. при ветрах восточного направления (от Африки) концентрация сажи уменьшалась незначительно (в 1,5 раза), в среднем составляя 95 нг/м³.

На участке маршрута 25–62° ю.ш. при ветрах западного направления она уменьшалась приблизительно в 3 раза (с 62 до 23 нг/м³) при средней концентрации 46 нг/м³. Аналогичная изменчивость концентрации сажи зарегистрирована в [5, 6]. В табл. 1 представлены результаты измерений содержания сажи в приводном слое атмосферы, полученные в 45-й и 52-й РАЭ НЭС «Академик Федоров». Можно сделать вывод, что в этих рейсах наблюдается близкая по величине широтная изменчивость концентрации сажи.

Таблица 1

Содержание сажи (нг/м³) в приводном слое атмосферы в 45-й и 52-й РАЭ НЭС «Академик Федоров»

Район	Содержание	45-я РАЭ, НЭС «Академик Королев», 8.11–22.12.99	52-я РАЭ, НЭС «Академик Федоров», 17.11.06–30.01.07 [5]
Северный пассат и экватор	среднее	180	180
	min	60	4
	max	100	630
Южная Атлантика	среднее	68	30
	min	22	3
	max	100	100
Южный океан	среднее	28	10
	min	2	1
	max	66	100

В экспедиции 18 марта – 28 апреля 2009 г. на участке от 26° ю.ш. до экватора НИС «Академик Иоффе» пересекало Атлантический океан от побережья Южной Америки до Африки. В этом случае широтная изменчивость концентрации сажи была больше, чем в 45-й РАЭ, приблизительно в 2,5 раза: 18 нг/м³ на 25° ю.ш. и 45 нг/м³ на экваторе (рис. 1, б). На участке 14° ю.ш. – экватор (рис. 2, траектории 1–4) при ветрах юго-восточного направления от побережья Африки средняя концентрация сажи оказалась равной 40 нг/м³, а на участке от 25–14° ю.ш. (рис. 2, траектории 5–7), где воздушные массы приходили от удаленных от побережья океанических районов, средняя концентрация сажи низкая – 22 нг/м³.

При движении научно-исследовательского судна вдоль побережья Южной Америки от 52° ю.ш. до 26° ю.ш. 6–18 апреля 2009 г. отбор аэрозольных проб проводился из воздушных масс, прошедших над континентом (рис. 2, траектории 8–13) и подвергнувшихся антропогенному загрязнению, вследствие чего единичные (24-часовые) значения концентрации сажи варьировали в пределах 130–1640 нг/м³, а средняя концентрация сажи составила 570 нг/м³.

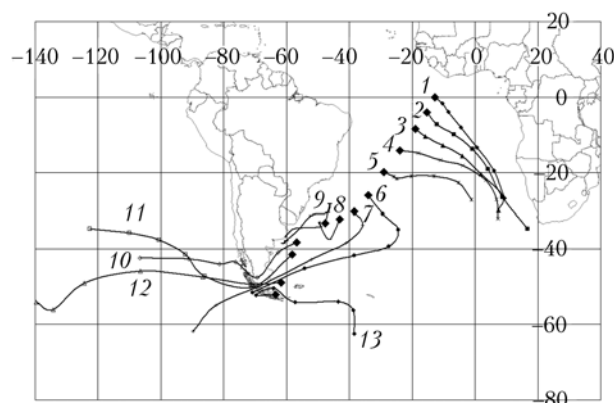


Рис. 2. Шестисуточные обратные траектории переноса воздушных масс на уровне 1000 мбар по маршруту 27-го рейса НИС «Академик Иоффе»

В Северном полушарии в научно-исследовательских рейсах 2000 г. (см. рис. 1, а) и 2009 г. (см. рис. 1, б) от 30° с.ш. до 55° с.ш. концентрация сажи часто менялась в пределах от 200 до 600 нг/м³. При ветре со стороны Великобритании на широте 51,08° с.ш. концентрация сажи в рейсе 2000 г. была максимальной (1140 нг/м³), в рейсе 2009 г. достигала 660 нг/м³. При ветрах с Пиренейского полуострова в 2000 г. она составляла 400–500 нг/м³. Особо надо отметить увеличение содержания сажи на участке 15–10° с.ш. в зимний период 1999 г. до 340–630 нг/м³ (см. рис. 1, а). В весенние сезоны увеличение было меньше, чем зимой (в 2000 г. – до 20–28 нг/м³ (рис. 1, а), в 2009 г. – до 16–21 нг/м³) (рис. 1, б).

Для этого участка рейса судна обратные траектории переноса воздушных масс имеют очень похожий ход (рис. 3, траектория 1 – зима, 5–7 – весна 2000 г.): все траектории идут с севера вблизи побережья Африки или проходят над сушей неглубоко внутри континента. Аэрозольные пробы в этих широтах могут содержать вещества сахарской пыли, поглощающие излучение в видимой области спектра, за счет чего измеренные значения концентрации сажи могут быть завышены. В 45-й РАЭ при отборе аэрозольных проб на трехслойные фильтры в 9 случаях собралось достаточное количество поглощающего вещества для анализа на всех трех слоях пакетов фильтров, что позволило оценить массовый медианный аэродинамический диаметр (ММАД), который варьировал в диапазоне 0,08–0,15 мкм (табл. 2).

Кроме того, удалось оценить распределение носителей сажи по размерам, учитывая тот факт, что при стандартном геометрическом отклонении (СГО) меньше 3–4 распределение частиц одномодальное, а при больших СГО, вероятнее всего, в атмосфере реализуется бимодальное распределение частиц. Аэрозольные частицы на фильтрах, отобранные 11 и 17 ноября 1999 г., а также 25 апреля 2000 г. на том участке маршрута, где, возможно, присутствует сахарская пыль, могут иметь двухмодальное распределение носителей сажи. Ранее при анализе трехслойных фильтров нами установлено,

Таблица 2

Массовый медианный аэродинамический диаметр аэрозольных частиц и стандартное геометрическое отклонение, полученные в 45-й РАЭ НЭС «Академик Федоров». C – суммарная массовая концентрация ЭПС, $M_{\text{сумма}}$ – масса ЭПС на одно-, двух- и трехслойных фильтрах, M_1 , M_2 и M_3 – масса ЭПС на одно-, двух- и трехслойных фильтрах. № 2, 3 и 9 – сажа, сахарская пыль

№ пробы	Дата	Широта, град	C , нг/м ³	$M_{\text{сумма}}$, нг	M_1 , %	M_2 , %	M_3 , %	ММАД, мкм	СГО
1	08.11.1999	51,08	1140	6380	22	26	52	0,13	2,9
2	15.11.1999	15,03	340	13200	19	20	61	0,11	3,11
3	17.11.1999	4,25	260	11280	17	9	74	0,08	3,99
4	19.11.1999	-3,26	100	4720	1	46	53	0,14	1,07
5	21.11.1999	-12,24	100	3370	2	49	49	0,15	1,34
6	23.11.1999	-21,42	120	3770	5	43	53	0,14	1,56
7	18.02.2000	-53,74	120	9340	17	21	61	0,12	2,2
8	22.03.2000	-65,09	120	8990	32	19	49	0,12	3,6
9	25.04.2000	1,47	120	17080	39	19	42	0,13	4,28

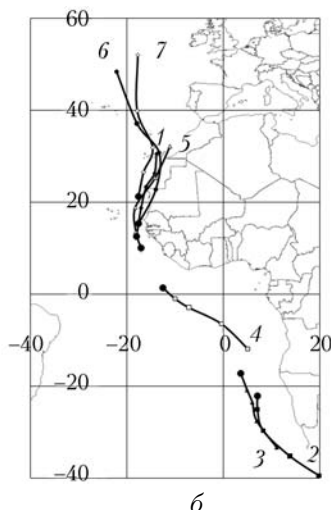
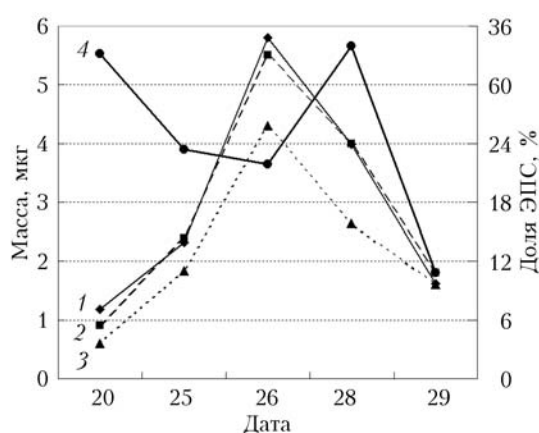


Рис. 3. Масса ЭПС аэрозольных частиц, собранных 20–29 апреля 2000 г. (а); 4-суточные обратные траектории переноса воздушных масс на уровне 925 мбар для участков рейса 45-й РАЭ НЭС «Академик Федоров», где аэрозольные пробы имеют окраску, отличную от цвета сажи (б): 1 – 15.1.1999; 2–7 – 20, 21, 25, 27, 28, 29.04.2000

что размер поглощающих аэрозольных частиц от местных городских источников в Москве в июне 1994 г. составлял 0,12–0,3 мкм, а в Пекине в ноябре 2001 г., когда при отоплении помещений и при-

готовлении пищи использовался каменный уголь, – 0,3–0,6 мкм.

В 45-й РАЭ анализ данных трехслойных фильтров показал, что отобранные аэрозольные частицы – это результат дальнего переноса воздушных масс, так как их ММАД составляет около 0,2 мкм.

Несмотря на то что коэффициент оптического поглощения у сажи ($10 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$) на два порядка больше, чем у сахарского пылевого аэрозоля ($0,03\text{--}0,1 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$) [7, 8]), при проведении измерений содержания сажи в атмосфере над водной поверхностью в Атлантическом океане могут быть случаи, когда необходимо учитывать вклад несажевых поглощающих частиц. Нами в 45-й РАЭ уже визуально было обнаружено, что в 7 случаях аэрозольные пробы (однослойные и трехслойные) имеют окраску, отличающуюся от цвета сажи. Места отбора этих 7 аэрозольных проб и обратные траектории переноса воздушных масс к ним представлены на рис. 3, б.

Известно, что сахарская пыль часто имеет характерный красновато-коричневый цвет [9]. Такой окраски была лишь одна проба, собранная 20 апреля 2000 г. (кривая 2 на рис. 3, б, широта 22° ю.ш.). Поскольку частицы аэрозоля диаметром 0,1–0,2 мкм собираются преимущественно на втором и третьем слоях пакета трехслойных фильтров и проникают внутрь материала однослойных фильтров, а более крупные частицы собираются на первом слое пакета трехслойных фильтров и образуют верхний слой пробы на однослойном фильтре, который легко можно удалить, то есть возможность двумя методами оценить вклад эквивалента поглощения сажи (ЭПС), сопоставив результаты измерений поглощения света: (в 1-м методе) на первом слое и трех слоях пакета фильтров, (во втором методе) до и после удаления верхнего слоя частиц аэрозольных проб на однослойных фильтрах. На рис. 3, а представлены результаты измерения 5 проб на однослойных фильтрах: доля ЭПС 20 апреля составляет 33%, а доля ЭПС проб, собранных на 2–21 с.ш. 25–28 апреля, – 22–33%. В те же сроки доля ЭПС первого слоя пакетов трехслойных фильтров

превышает оценку доли ЭПС на однослойных фильтрах в 1,35 раза и соответственно равна 45 и 39%. Следовательно, при проведении измерений концентрации сажи, уже при факторе мутности Линке по аэрозолю, равному 3, полученному 25–28 апреля и свидетельствующему о низком содержании аэрозольных частиц в атмосфере, необходимо осуществлять учет вклада ЭПС.

3. Южный океан

В рейсе вдоль побережья Антарктиды 7 декабря 1999 г. – 25 января 2000 г., проходившем во льдах, и в рейсе 20 февраля – 6 апреля 2000 г., осуществленном в водах, свободных ото льда, получены данные о загрязненности приводного слоя атмосферы в Южном океане на 64–71,4° ю.ш. и 12° з.д.–92° в.д. Кроме того, в моменты подхода корабля к российским полярным станциям измерительная аппаратура устанавливалась на ст. Новозаревская, Мирный и Прогресс, где проводились непродолжительные наблюдения за состоянием загрязненности сажей приземного слоя атмосферы. Результаты измерений представлены в табл. 3.

Средние значения концентрации сажи на российских станциях отличаются незначительно, находясь в интервале 24 – 34 нг/м³.

4. Антарктида (ст. Беллинсгаузен)

С 20 декабря 2001 г. по 11 марта 2002 г. проводился круглосуточный отбор проб атмосферного аэрозоля на российской станции Беллинсгаузен. Основная задача пробоотбора заключалась в получении проб фоновое антарктическое аэрозоля, когда отсутствует вклад от местных источников загрязнения. Местный источник загрязнения атмосферы – дизельная электростанция – находился по отношению к точке забора проб в направлении 280–310°, на расстоянии 500 м. При наличии ветров данного направления заметно увеличивалось количество сажи на фильтрах, поэтому результаты измерения этих фильтров не использовались. Данные 36 оставшихся фильтров представлены на рис. 4, а. Уровень загрязнения воздуха сажей 21 декабря 2001 г. – 15 февраля 2002 г. варьировал в интервале 2–32 нг/м³, а 20 февраля – 9 марта 2002 г., при ветрах в секторе 45–210°, возрос до 39–80 нг/м³. Нами проанализированы данные о наличии температурных инверсий в период с 20 декабря 2001 г. по 11 марта 2002 г., полученные на ближайшей к ст. Беллинсгаузен антарктической станции Халли (Великобритания) и на континентальной метеорологической станции Пинта Арнос (Южная Америка), где регулярно проводятся запуски метеорологических радиозондов [11].

Из результатов, представленных в табл. 3, следует, что повышение концентрации сажи за период 20 февраля – 9 марта 2002 г. на ст. Беллинсгаузен, возможно, произошло за счет увеличения повторяемости мощных температурных инверсий. Рассмотрев ход обратных траекторий переноса воздушных масс и соответствующие им значения концентрации

сажи, мы установили, что большие концентрации сажи наблюдаются при прохождении воздушных масс над материком Южной Америки 24, 27 декабря 2001 г. (рис. 4, б, траектории 2, 3) и 3, 9 марта 2002 г. (рис. 4, в, траектории 5, 7) и низкие значения – при приходе воздушных масс из Атлантического океана (район 63° ю.ш. и 45° з.д.) – 15 февраля 2002 г. (рис. 4, б, траектория 9) и 7 марта 2002 г. (рис. 4, в, траектория 6).

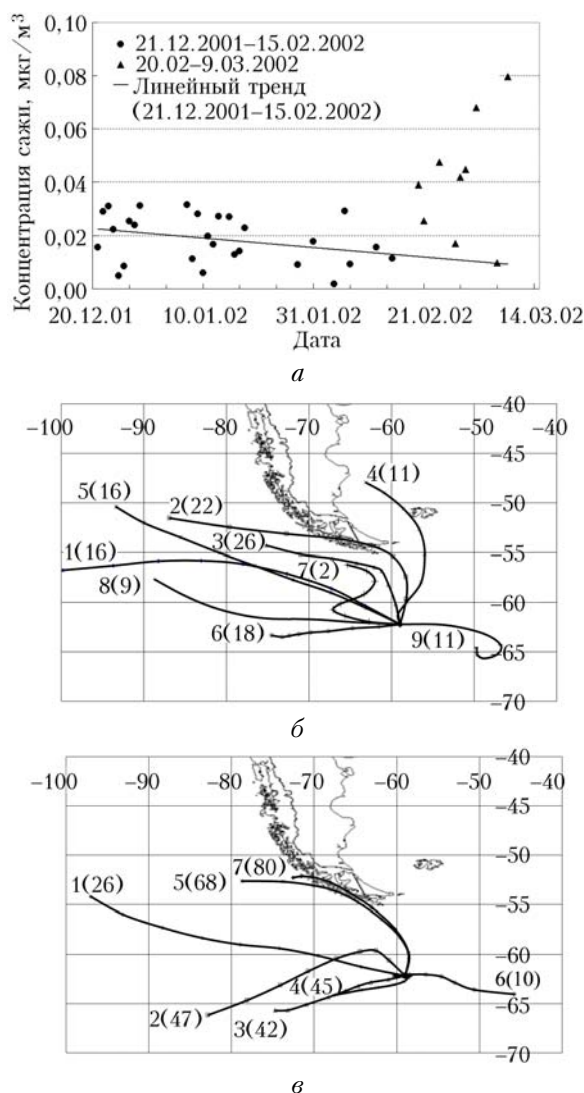


Рис. 4. Вариации концентрации сажи на ст. Беллинсгаузен 21.12.2001–9.03.2002 (а); 2-суточные обратные траектории переноса воздушных масс на уровне 1000 мбар: б – 1, 2, 3–21, 24, 27.2001, 4, 5, 6–8, 17, 31.01.2001, 7, 8, 9–2, 7, 9.02.2002; в – 1, 2, 3–21, 24, 28.02.2002, 4–7 – 1, 5–7.03.2002. На рис. 4, б и в в скобках – концентрация сажи, нг/м³

В табл. 4 приведено сопоставление данных о содержании сажи в воздухе на российских и зарубежных антарктических станциях, а также в Южном океане вдоль побережья Антарктиды. Среднее значение концентрации сажи за весь период наблюдений на ст. Беллинсгаузен равно 19 нг/м³ и близко

Таблица 3

Наличие слабовыраженных (СИ) и мощных (МИ) инверсий (%) на антарктической станции Халли и станции Пинто Аренос в Южной Америке в период 20.12.2001–11.03.2002 [10]

Место измерения	20.12.01–18.02.02			20.02–11.03.02		
	Н	СИ	МИ	Н	СИ	МИ
Антарктическая станция Халли	26	52	22	–	36	64
Станция Пинто Аренос, Южная Америка	56	38	6	60	13	27

Примечание. Н – нет инверсий.

Таблица 4

Содержание сажи ($\text{нг}/\text{м}^3$) в воздухе в Южном океане, на российских и зарубежных антарктических станциях

Район и время измерений		Среднее	min	max
Южный океан	7.12.1999–25.01.2000, 12° з.д.–90° в.д., лед	34	2	56
	20.02–6.04.2000, 12° в.д.–92° в.д.	28	2	66
Станции Новолазаревская (24.12.1999), Мирный (1.03.2000), Прогресс (6.03–11.03.2000)		24	2	65
Станция Беллинсгаузен, 21.12.2001–10.03.2002		19	2	32
Станция Мак-Мёрдо (США) 19.11.1995–6.02.1996 [11]	65% измерений	20		
	35% измерений	300		
Станция Ферраз (Бразилия) 1993, 1997 и 1998, сентябрь–январь [12]		10		
Станция Амундсен–Скотт (США), ноябрь–декабрь 1987 [13]		2	0,5	5

к значению, полученному при измерениях в Южном океане, – 22 $\text{нг}/\text{м}^3$. Примем во внимание, что фотометр ИФА РАН дает показания в 1,5 раза выше, чем измеритель сажи Аэталометр АЕ-16, используемый на зарубежных станциях. Уровень загрязнения приземного воздуха сажей, зафиксированный на ст. Беллинсгаузен, сопоставим с уровнем содержания сажи на антарктических станциях Мак-Мёрдо (США) [11] и Ферраз (Бразилия) [12], что связано с относительно интенсивной антропогенной деятельностью на о. Кинг-Джордж (ст. Беллинсгаузен и Ферраз) и на ст. Мак-Мёрдо, являющейся перевалочным пунктом для большого количества грузов (увеличение содержания сажи в воздухе от судов в порту до 300 $\text{нг}/\text{м}^3$) и часто меняющейся численностью населения станции, и значительно выше результатов, полученных на ст. Южный Полюс (США) [7]. Во всех четырех проведенных нами экспедициях наблюдался рост значений концентрации сажи в воздушных массах, прошедших над континентами. Аналогичные результаты получены в исследованиях, проведенных в трех экспедициях (29 октября – 16 ноября 2002 г. и 2003 г., а также 14 февраля – 6 марта 2004 г.) вдоль Южной Америки от Рио-де-Жанейро до ст. Ферраз [13], а также в работе [14] в Атлантическом и Тихом океанах вблизи Южной Америки, где содержание сажи в атмосфере варьировало в диапазоне 99–680 $\text{нг}/\text{м}^3$.

Заключение

Исходя из проведенных измерений концентрации сажевого аэрозоля в четырех экспедициях, получены следующие результаты.

1. Содержание сажи в воздухе вблизи Земли Франца-Иосифа в октябре 1998 г. сравнимо со значениями, полученными на стационарных станциях в 1989–1992 гг.

2. В Южном полушарии вдоль Африки в апреле 2000 г. наблюдалась широтная изменчивость содержания сажи: средняя концентрация сажи от экватора (95 $\text{нг}/\text{м}^3$) до 25° ю.ш. при восточных ветрах от Африки уменьшилась в 1,5 раза, а при ветрах западного направления на участке 25–62° ю.ш. – в 3 раза.

3. В экспедиции 18 марта – 28 апреля 2009 г. на участке от побережья Южной Америки до Африки (от 26° ю.ш. до экватора) при смене ветра от удаленных от побережья океанических районов на восточный ветер от побережья Африки содержание сажи увеличилось в 2,5 раза: 18 $\text{нг}/\text{м}^3$ на 25° ю.ш. и 45 $\text{нг}/\text{м}^3$ на экваторе.

4. Средняя концентрация сажи на ст. Беллинсгаузен, Новолазаревская, Мирный, Прогресс, а также в Южном океане составляет 19–28 $\text{нг}/\text{м}^3$ и сопоставима с уровнем загрязнения зарубежных станций Мак-Мёрдо и Ферраз.

5. В Северном полушарии концентрация сажи часто составляла 400–1600 $\text{нг}/\text{м}^3$.

6. Массовый медианный аэродинамический диаметр сажевых аэрозольных частиц, полученный в 45-й РАЭ, – 0,1–0,2 мкм.

7. Доля ЭПС вещества на однослойных фильтрах, не содержащего сажу, в отдельных случаях составляет 10–33%.

Работа выполнена при поддержке Международного научно-технического центра, проект № 3032, и проектов РФФИ № 08-05-00659 и 09-05-90416.

1. *Полиссар А.В.* Исследование временной и пространственной изменчивости характеристик арктического аэрозоля: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. М.: Ин-т физики атмосферы РАН, 1994. 138 с.
2. *Копейкин В.М.* Анализ содержания сажи в аэрозоле // Контроль состояния воздушного бассейна г. Москвы. Препр. / ИФА РАН (М.). 1991. № 1. С. 59–64.
3. *Будыка А.К.* Атмосферный мониторинг и диагностика аэрозолей: Дис. докт. физ.-мат. наук. М.: Научно-исслед. физ.-хим. ин-т им. Л.Я. Карпова, 2001. 219 с.
4. *HYSPPLIT4* (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) 1997. Web address: <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4>, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring MD.
5. *Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Козлов В.С., Панченко М.В., Полькин В.В., Тихомиров А.Б., Власов Н.И., Радионов В.Ф., Смирнов А.В., Холбен Б.Н., Слуцкер И.А., Голобокова Д.П.* Результаты исследований характеристик аэрозоля в 52-й РАЭ // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 77. С. 67–75.
6. *Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Панченко М.В., Полькин В.В.* О широтной зависимости и взаимосвязях характеристик аэрозоля в атмосфере Южной Атлантики // Оптика атмосфер. и океана. 2006. Т. 19. № 7. С. 611–621.
7. *Hansen A.D.A., Vodhaine B.A., Dutton E.G., Schnell R.C.* Aerosol black carbon measurement of the South Pole: initial results 1986–1987 // *Geophys. Res. Lett.* 1988. V. 15. N 11. P. 1193–1196.
8. *Patterson E.M., Gellet D.A., Stockton B.H.* Complex index of refraction between 300 nm and 700 nm for Saharan aerosols // *J. Geophys. Res. C.* 1977. V. 82. N 21. P. 3153–3160.
9. *Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И., Позняков Д.В.* Атмосферный аэрозоль. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 224 с.
10. *Web address:* <http://weather.uwyo.edu/cgi-bin/souding?region=samer&TYPE=GIF>
11. *Hansen A.D.A., Lowenthal D.H.* Black carbon aerosol at McMurdo Station, Antarctica // *J. Air and Waste Management Association.* 2001. V. 51. N 4. P. 593–600.
12. *Pereira E.B., Evangelista H., Pereira K.C.D., Cavalcanti J.F.A., Setzer A.W.* Apportionment of black carbon in the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula // *J. Geophys. Res. D.* 2006. V. 111. N 3. D03303. P. 1–14.
13. *Evangelista H., Maldonado J., Godoi R.H.M. et al.* Sources and transport of urban and biomass burning aerosol black carbon at the South-West Atlantic coast // *J. Atmos. Chem. D.* 2007. V. 56. N 1. P. 225–238.
14. *Andreae M.O., Andreae T.W., Ferek J.R., Raemdonck H.* Long-range transport of soot carbon in the marine atmosphere // *J. Sci. Total Environ.* 1984. N 36. P. 73–80.

V.M. Kopeikin, I.A. Repina, E.I. Grechko, B.I. Ogorodnikov. **Measurements of the soot aerosol content in the near-water layer in Southern and Northern Hemispheres.**

The results of mass soot concentration measurements in the near-water layer of the atmosphere during 2 cruises of the “Academic Fedorov” research vessel (from September 25 to October 23, 1998 on the route Saint-Petersburg – Franz-Joseph Land and from November 8, 1999 to April 30, 2000 on route Saint-Petersburg – Antarctica – South Ocean), the 27-th cruise of the “Academician Ioffe” research vessel (from April 6 to May 19, 2009 from Ushuaia (Tierra del Fuego) to Gdansk (Poland)) and at the Russian Antarctic station Bellingshausen (from December 20, 2001 to March 11, 2002). It is shown that the soot content in the atmosphere over Arctic Ocean in October 1998 is comparable to that, obtained at stationary stations in 1989–1992. The latitudinal dependence (soot content decrease with latitude increase) is observed in the Southern Hemisphere. The average concentration of soot at Bellingshausen station and, in South ocean comes to 19–28 ng/m³ and is comparable with the level of pollution at foreign stations McMurdo and Ferraz.