

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПО ДАННЫМ ПОПУТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА НЭС “АКАДЕМИК ФЕДОРОВ” В 2009 Г.

*В.В. Полькин¹, Ю.В. Артамонов²,
В.П. Бунякин³, С.П. Кислицин³*

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е.
Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Морской гидрофизический институт
НАН Украины, г. Севастополь, Украина

³Арктический и Антарктический
Научно-исследовательский институт
Федеральной службы России по
гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды, РАЭ,
г. Санкт-Петербург, Россия

Arlam-ant@yandex.ru

В работе анализируется распределение атмосферного аэрозоля и гидрометеорологических параметров по данным попутных измерений, выполненных на разных галсах в антарктической экспедиции на НЭС “Академик Федоров” в 2009 г. Показано, что различные составляющие атмосферного аэрозоля по-разному реагируют на изменение гидрометеорологических условий.

Введение. Атмосферный аэрозоль, являясь важным климатообразующим фактором, характеризуется значительной пространственно-временной изменчивостью. Несмотря на возросший интерес к экспериментальным исследованиям аэрозоля над океаном, его взаимосвязь с распределением гидрометеорологических параметров изучена очень слабо. В последние годы в ходе Российских антарктических экспедиций регулярно стали проводиться попутные измерения атмосферного аэрозоля и гидрометеорологических параметров над океаном [1 – 9]. Эти измерения позволяют частично заполнить существующий пробел в изучении влияния внешних факторов -на пространственное распределение аэрозоля и дать некоторые оценки его межгодовой изменчивости. Особенно важны исследования в районе Антарктиды, которые дают возможность оценить тенденции изменения глобального аэро-

зольного фона в условиях увеличивающейся антропогенной нагрузки и климатических изменений.

В настоящей работе представлены результаты анализа распределения параметров атмосферного аэрозоля и гидрометеорологических характеристик на разных галсах по данным попутных измерений на НЭС “Академик Федоров” в ноябре-декабре 2009 г. Проводится сравнение с результатами, полученными в предшествующих экспедициях.

Аппаратура и методика исследований. Исследования характеристик аэрозоля в приводном слое атмосферы осуществлялись с помощью аэрозольной станции, созданной в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (ИОА). Аэрозольная станция состояла из модифицированного нефелометра углового рассеяния типа ФАН-УХЛ4.2, счетчика аэрозольных частиц фирмы GRIMM (модель 1.108), измерителя массовой концентрации микрокристаллического углерода в воздухе – аэталометра (“сажемера”).

С помощью нефелометра ФАН-УХЛ4.2 измерялся коэффициент направленного аэрозольного рассеяния под углом $45^\circ - \mu(45^\circ)$ [$\text{км}^{-1}\cdot\text{стер}^{-1}$] на 4-х длинах волн – 0.46, 0.52, 0.59 и 0.63 мкм. Используя выражения из эмпирической модели атмосферных дымок Института физики атмосферы РАН, определялась массовая концентрация субмикронного аэрозоля M_A [$\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$] для плотности вещества аэрозольных частиц $1.5 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$: $M_A = 2400\cdot\mu(45^\circ)$ и для длины волны 0.52 мкм. Нефелометр ФАН позволяет измерять величину коэффициента направленного аэрозольного рассеяния, начиная с уровня $\sim 0.001 \text{ км}^{-1}\cdot\text{стер}^{-1}$.

Фотоэлектрический счетчик частиц GRIMM 1.108 использовался для измерений дисперсного состава аэрозоля: счетной концентрации N_A [см^{-3}] и функции распределения частиц по размерам в диапазоне 0.3 – 20 мкм, а также массовой концентрации M_A [$\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$] и функции распределения частиц по массе в диапазоне 0.23 – 20 мкм.

Разработанный в ИОА СО РАН, аэталометр (фотометр поглощения, “сажемер”) использовался для измерений массовой концентрации микрокристал-

лического углерода (сажи) M_{BC} [мкг·м⁻³] в атмосферном воздухе. Прибор откалиброван для измерений массовой концентрации микрокристаллического углерода с помощью генератора сажевых частиц.

Вся аппаратура, входящая в состав аэрозольной станции, была модернизирована таким образом, чтобы процесс измерений, контроль и регистрация осуществлялись в автоматическом или операторском режиме с персонального компьютера. Измерения проводились круглосуточно и синхронно тремя приборами в течение 10 – 30 минут с периодичностью 1 час в зависимости от текущей концентрации аэрозоля и сажи в воздухе. В файл заносились значения измеряемых характеристик, усредненные за время забора пробы. Согласно методике измере-

ний, один раз в сутки производились контроль и, при необходимости, калибровка приборов станции. Для нефелометра использовалась калибровочная светорассеивающая призма и прокачка кюветы чистым воздухом с измерением суммарного сигнала молекулярного рассеяния и фона измерительной камеры. Калибровка GRIMM 1.108 осуществлялась с помощью внутреннего калибратора. Аэталометр в течение экспедиции дополнительного не калибровался, однако перед отправкой в экспедицию несколько раз производилась проверка "нуля" при заборе воздуха в ячейку прибора через аэрозольный фильтр.

Анализ результатов. Распределение аэрозоля на трансатлантическом галсе показывает следующие особенности (рис. 1, 2).

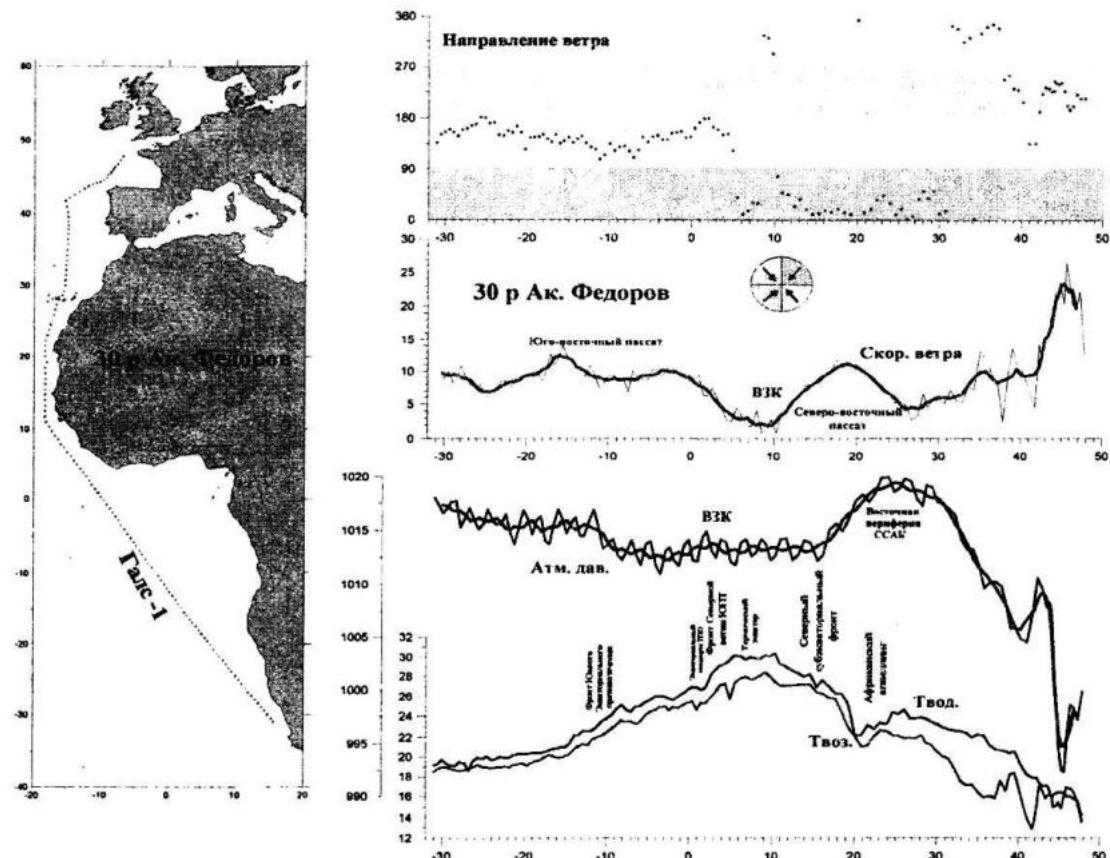


Рис. 1. Маршрут судна (слева) и распределение (справа, сверху вниз) направления и скорости ветра, атмосферного давления, температуры воды и воздуха вдоль маршрута судна в 55-й РАЭ (30 рейс НЭС "Академик Федоров")

Северный участок галса между 50° и 30° с.ш., относящийся к "европейской" части маршрута, характеризовался повышенными значениями всех измеряе-

мых параметров атмосферного аэрозоля с максимумами на широтах 45° и 35° с.ш. На этом участке наблюдались высокие значения относительной влажности

воздуха ($RH = 75\%$), скорости ветра (10 – 20 м/с), волнения поверхности моря (5 – 6 баллов), что стимулировало образование частиц морского происхождения (“пузырьковый” механизм генерации и срывание частиц пены с гребней волн), что привело к росту средних значений M_A до $25 \text{ мкг}\cdot\text{м}^{-3}$ и N_A до 35 см^{-3} . Близость промышленно развитой части Евразийского континента отразилась на

росте массовой концентрации “сажи” M_{BC} (до $\sim 1.541 \text{ мкг}\cdot\text{м}^{-3}$) антропогенного происхождения.

Между 32° и 24° с.ш. наблюдается минимум концентраций аэрозолей. Здесь происходит ослабление скорости ветра и смена на его направления на северо-восточное.

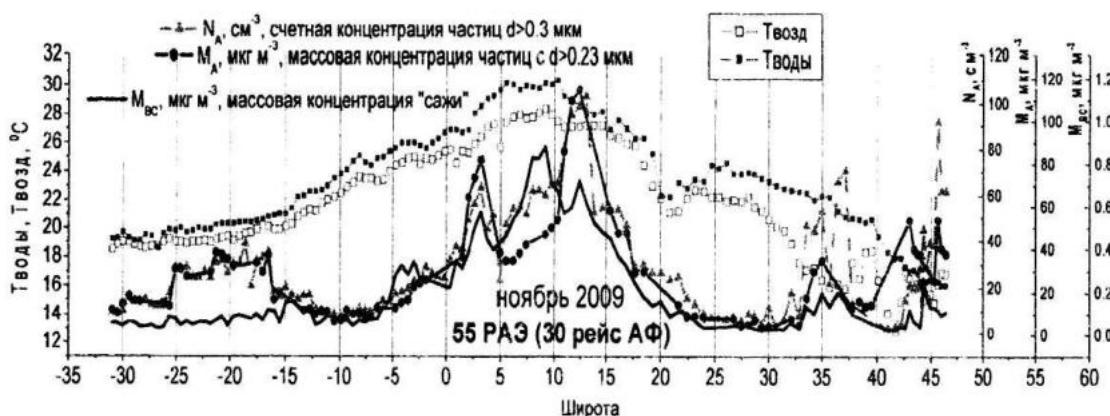


Рис. 2. Изменение с широтой счетной концентрации аэрозоля N_A , массовой концентрации аэрозоля M_A , сажи M_{BC} , температуры воды и воздуха вдоль маршрута судна в 55-й РАЭ (30 рейс НЭС “Академик Федоров”)

Южнее, между 24° и 12° с.ш. отмечается рост всех аэрозольных параметров (N_A , M_A и M_{BC}), который обусловлен усилением пассата, приносящего с северо-востока терригенный аэрозоль из пустынных районов Африканского континента (сахарская пыль). Величины параметров атмосферного аэрозоля достигают максимума ($N_A \sim 103 \text{ см}^{-3}$, $M_A \sim 115 \text{ мкг}\cdot\text{м}^{-3}$, $M_{BC} \sim 0.86 \text{ мкг}\cdot\text{м}^{-3}$) на $12 - 14^\circ$ с.ш., у северной границе ВЗК. В области ВЗК аэрозоль подвергается воздействию высокой относительной влажности воздуха, что приводит к росту его счетной и массовой концентраций. Между 5° и 10° с.ш., где наблюдаются максимальные значения температуры воздуха и воды (термический экватор), отмечается увеличение роста массовой концентрации “сажи” M_{BC} .

На фоне общего уменьшения концентраций аэрозолей южнее 7° с.ш., в зоне действия Северной ветви Южного пассатного течения на $2 - 3^\circ$ с.ш. отмечается максимум концентраций аэро-

лей всех типов. Здесь усиливается ветер юго-восточного направления, наблюдаются слабый максимум атмосферного давления и резкое понижение ТПО в сторону экватора. Еще один максимум концентраций аэрозолей M_{BC} прослеживается в районе $3 - 5^\circ$ ю.ш. Вероятно, эти оба максимума связаны со следами аэрозольных пылевых выносов со стороны континента ветрами с восточной стороны. Причем во втором случае роста N_A и M_A не наблюдается, скорее всего, вследствие уменьшения влияния относительной влажности воздуха.

На юге галса, на участке $16 - 25^\circ$ ю.ш., отмечается повышение значений N_A и M_A , которое, вероятно, связано с приближением судна к Африканскому континенту и к местам выноса пылевого аэрозоля юго-восточными ветрами из пустыни Калахари. При этом отметим, что роста массовой концентрации “сажи” M_{BC} не наблюдается, т.е. этот аэрозоль является слабо поглощающим в видимом диапазоне длин волн.

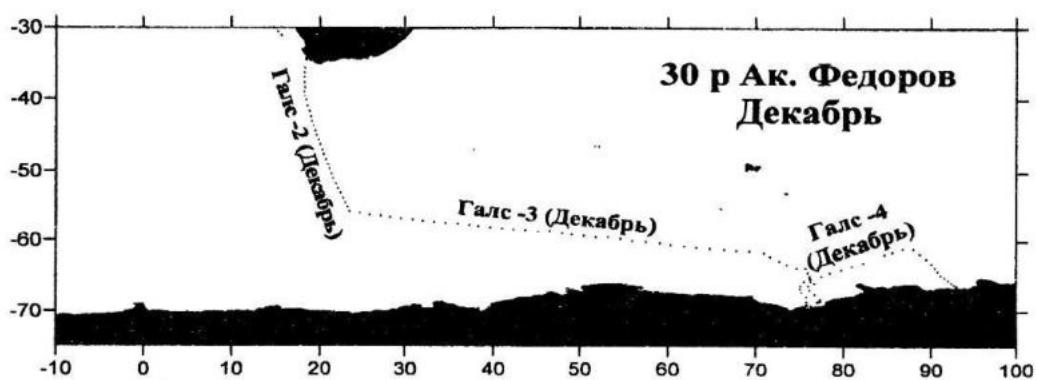


Рис. 3. Схема галсов НЭС "Академик Федоров" в полярных широтах в 55-й РАЭ

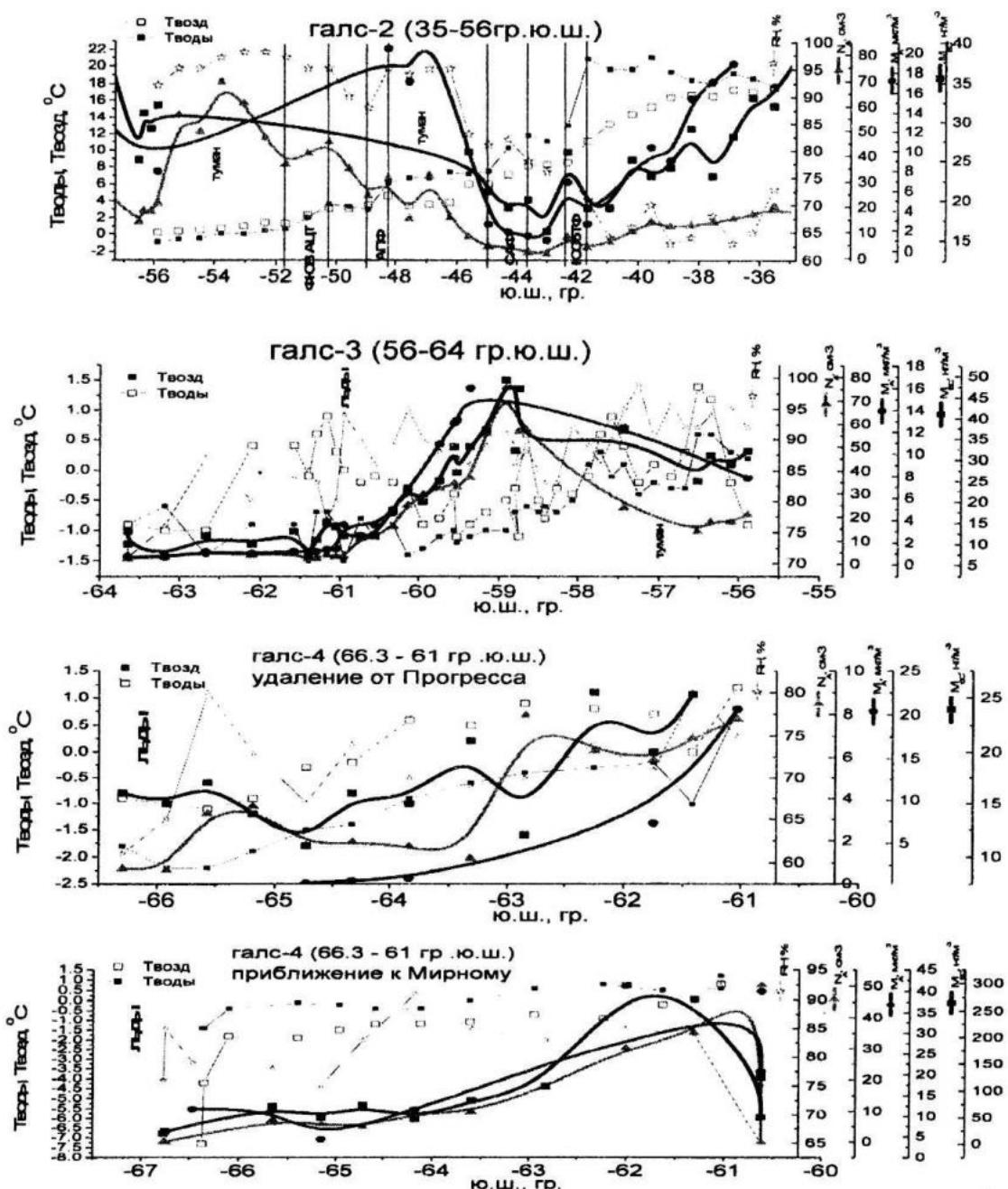


Рис. 4. Временной ход параметров атмосферного аэрозоля в полярных широтах
(30 рейс НЭС "Академик Федоров")

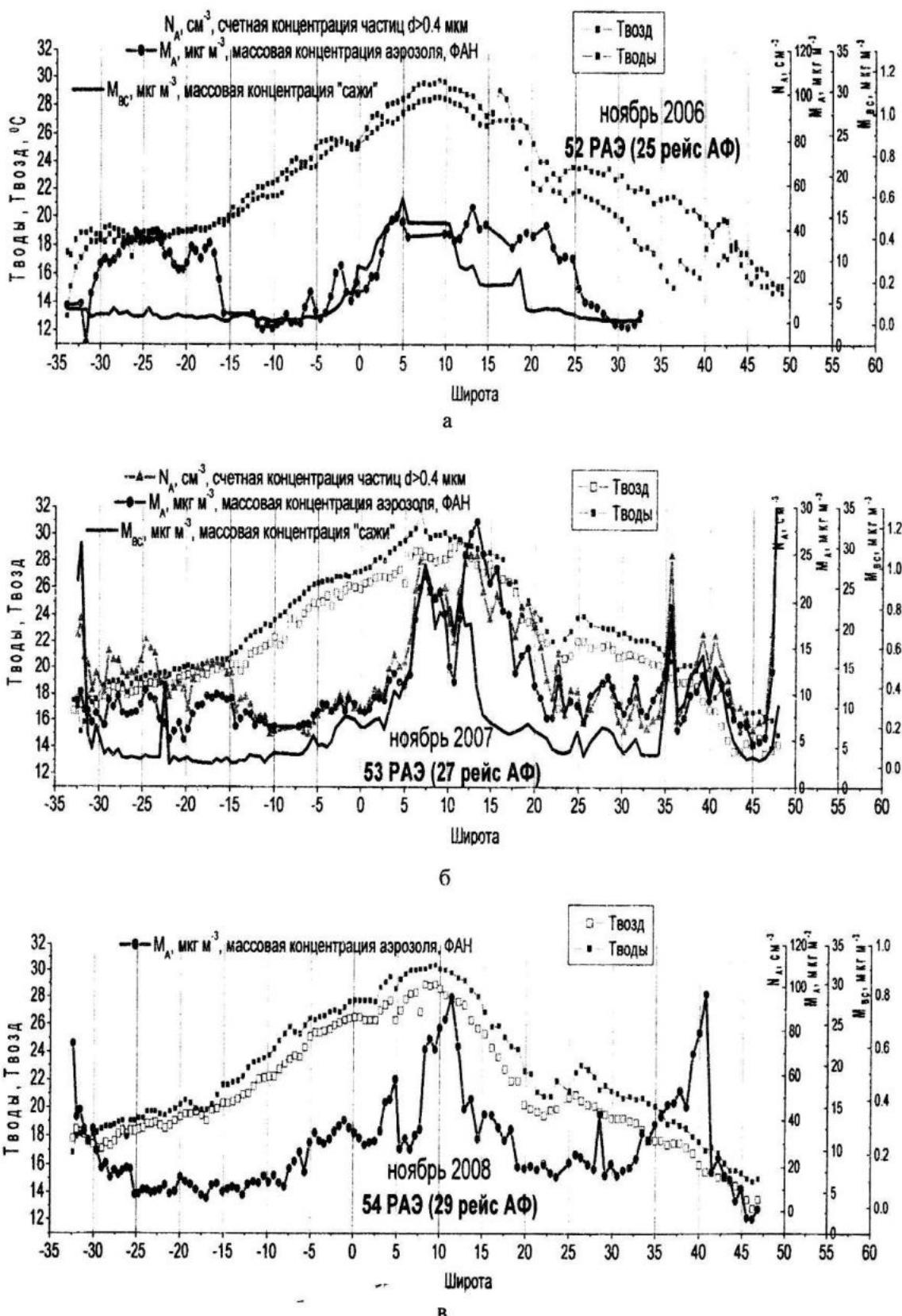


Рис. 5. Изменение с широтой счетной концентрации аэрозоля N_A , массовой концентрации аэрозоля M_A , сажи M_{BC} , температуры воды и воздуха вдоль маршрута судна: (а) – в 52-й РАЭ (25 рейс НЭС “Академик Федоров”), (б) – в 53-й РАЭ (27 рейс НЭС “Академик Федоров”), (в) – в 55-й РАЭ (29 рейс НЭС “Академик Федоров”)

Районы Южного океана и прибрежные районы Антарктиды на пути следования судна по уровню содержания аэрозоля могут быть отнесены к фоновым. Маршрут судна и временной ход параметров атмосферного аэрозоля в полярных широтах представлены на рис. 3, 4. В отсутствии волнения моря содержание M_A не превышало 3 $\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$, сажи M_{BC} – менее 0.1 $\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$. Минимальные значения измеряемых параметров отмечались в прибрежных районах Антарктиды и составили: N_A [см $^{-3}$] – 0.193 (станция “Прогресс”), M_{BC} [$\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$] – 0.007 (станция “Ленинградская”), M_A [$\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$] – 0.03 (станция “Прогресс”).

На галсе 4 на восточном участке при подходе к станции “Мирный” наблюдается увеличение всех компонентов аэрозоля.

Межгодовые изменения. Попутные гидрометеорологические измерения и наблюдения за концентрациями аэрозоля были выполнены на трансатлантическом галсе в ноябре 2006 г. (52-я РАЭ), 2007 г. (53-я РАЭ), 2008 г. (54-я РАЭ) и 2009 г. (55-я РАЭ).

Эти данные показывают, что наряду с сохранением генеральных черт в распределении концентраций аэрозоля наблюдается их межгодовая изменчивость (рис. 5). Межгодовые изменения в основном проявляются в величинах экстремальных значений концентраций аэрозоля и широтном положении этих экстремумов. Например, в тропической зоне, хотя во все годы отмечалась два максимума в широтном распределении для массовых концентраций субмикронного аэрозоля (M_A), в ноябре 2006 года величина основного максимума не превышала 10 – 15 $\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$, тогда как в ноябре 2007 – 2008 гг. они увеличились до 25 – 35 $\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$, а в ноябре 2009 г. достигли 110 – 120 $\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$.

Большие межгодовые различия в широтном распределении M_A отмечаются и в умеренных широтах. В 2007 году в Северном полушарии максимумы M_A отмечались на 35° и 48° с.ш., в 2008 году они сместились на 28° и 41° с.ш., а в 2009 году на 35° и 43° с.ш.

Выводы. Для трансатлантического галса НЭС “Академик Федоров” за 2006

– 2010 годы накоплен статистический материал по гидрометеорологическим и аэрозольным параметрам приводного аэрозоля, что позволяет детально проанализировать пространственно-временные связи и межгодовую изменчивость, существенно продвинуться вперед при решении задач глобальных внутриекадных и климатических изменений, проявляющихся в разных параметрах системы океан-атмосфера.

Отмечается хорошая чувствительность измеряемых аэрозольных параметров к гидрометеорологическим и синоптическим параметрам, а также к выносам аэрозольного вещества с континента.

Разные аэрозольные параметры на разных участках галса по-разному реагируют на изменения гидрометеорологических параметров. Синхронные изменения всех измеряемых параметров (N_A , M_A , M_{BC}) наблюдаются в европейском регионе (севернее 30° с.ш.) в условиях сильных ветров и волнения моря, в южной части района выноса сахарской пыли северо-восточным пассатом (около 5° с.ш.), в районах с низкими значениями аэрозольных параметров (20 – 30° с.ш., 5 – 15° ю.ш.).

Параметры N_A , M_A максимальных значений достигают на северной границе ВЗК (12 – 14° с.ш.), где аэрозоль подвергается воздействию высокой относительной влажности воздуха.

Максимальные массовые концентрации “сажи” (M_{BC}) наблюдаются между 5° и 10° с.ш., где отмечены максимальные значения температуры воздуха и воды, минимальной скорости ветра.

На юге галса между 16° и 25° ю.ш. прослеживается повышение значений N_A и M_A , что может быть связано с выносом юго-восточными ветрами пылевого аэрозоля из пустыни Калахари.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полькин В.В., Артамонов Ю.В., Бунякин В.П., Кислицин С.П. Широтное распределение аэрозоля и гидрометеорологических параметров на трансатлантическом галсе по данным попутных измерений на НЭС “Ака-

- демик Федоров” в ноябре 2009 г. // Международная научная конференция “Морские исследования полярных областей Земли в рамках Международного Полярного Года 2007 – 2008 гг.”. – Санкт-Петербург, 21-23 апреля 2010 г. – С. 142.
2. Полькин В.В., Панченко М.В., Сакерин С.М., Радионов В.Ф., Бунякин В.П., Кислицын С.П., Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Артамонов Ю.В., Шевченко В.П., Лисицын А.П. Мониторинг пространственно-временной изменчивости микрофизических и химических параметров приводного аэрозоля на трансатлантическом галсе по маршруту НЭС “Академик Федоров”: Материалы симпозиума // VII Всероссийский симпозиум “Контроль окружающей среды и климата, КОСК-2010”, Томск, 5-7 июля, 2010. Томск: “Аграф-Пресс”, 2010. – С. 240.
 3. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Полькин В.В., Smirnov A., Radionov V.F., Slutsker I., Vlasov N.I., Pol'kin Vas.B. О результатах исследования аэрозольной оптической толщины атмосферы в 55-й Российской Антарктической экспедиции: Материалы симпозиума // VII Всероссийский “Контроль окружающей среды и климата, КОСК-2010”, Томск, 5-7 июля, 2010. Томск: “Аграф-Пресс”, 2010. – С. 242.
 4. Terpugova S.A., Polkin V.V., Sakerin S.M., Kabanov D.M., Holben B.N., Slutsker I.A., Smirnov A.V., Radionov V.F. Study of atmospheric aerosol and columnar water vapor in Antarctic region during 53 Russian Antarctic expedition in 2007-2008 // European Aerosol Conference 2009, September 6-11, Karlsruhe, Germany, Abstract, T160A09.
 5. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Панченко М.В., Полькин В.В. О широтной зависимости и взаимосвязях характеристик аэрозоля в атмосфере Южной Атлантики // Оптика атмосферы и океана. – 2006. – № 7. – С. 611 – 621.
 6. 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 Л.П. Результаты исследований характеристик аэрозоля в 52-й РАЭ // Проблемы Арктики и Антарктики: Санкт-Петербург, 2007. – № 77. – С. 67 – 75.
 7. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Полькин В.В., Смирнов А.В., Слуцкер И.А., Холбен Б.Н., Радионов В.Ф. Исследования аэрозольной оптической толщины атмосферы на втором этапе 53-й Российской антарктической экспедиции: Тезисы докладов // XV Рабочая группа “Аэрозоли Сибири”, Томск: Изд. ИОА СО РАН, 2008. – С. 52.
 8. Полькин В.В., Терпугова С.А., Панченко М.В. Дисперсный состав приводного аэрозоля в 53-й РАЭ: Тезисы докладов // XV Рабочая группа “Аэрозоли Сибири”, Томск: Изд. ИОА СО РАН, 2008. – С. 12.
 9. Терпугова С.А., Полькин В.В., Панченко М.В., Шмаргунов В.П., Тихомиров А.Б. Сравнительный анализ характеристик атмосферного аэрозоля в приводном слое атмосферы в 52-й и 53-й Российских антарктических экспедициях: Тезисы докладов // XV Рабочая группа “Аэрозоли Сибири”, Томск: Изд. ИОА СО РАН, 2008. – С. 13.

Работа выполнена при поддержке проекта 20.1 программы фундаментальных исследований Президиума РАН “Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология”.