

**В.В. Польшкин, Л.П. Голобокова¹, В.С. Козлов, В.Б. Коробов²,
А.П. Лисицын³, М.В. Панченко, М.А. Пескова²,
Т.В. Ходжер¹, В.П. Шевченко³**

Оценка связи микрофизического и химического состава для приводного аэрозоля Белого моря

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

¹ *Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск*

² *ГУ Архангельский ЦГМС-Р, г. Архангельск*

³ *Институт океанологии РАН, г. Москва*

Поступила в редакцию 5.04.2004 г.

Обсуждаются результаты научных исследований массовой концентрации «сажи», химического состава, счетной концентрации и микроструктуры приводного аэрозоля в различных районах Белого моря, полученные с 20 по 31 августа 2003 г. во время 55-го рейса НИС «Профессор Штокман». Рассматриваются взаимосвязи отдельных химических элементов (ионов) аэрозольного вещества с дисперсностью аэрозольных частиц.

Введение

Известно, что окружающая среда северных районов очень чувствительна к различного рода антропогенным воздействиям. Одним из основных каналов загрязнений, поступающих в эти широты, является атмосфера [1, 2].

С целью изучения пространственно-временной изменчивости параметров аэрозольных частиц приводного слоя морской атмосферы и связи химического состава с дисперсностью аэрозоля в различных районах Белого моря с 20 по 31 августа 2003 г. в 55-м рейсе НИС «Профессор Штокман» был проведен эксперимент по измерению дисперсного состава, счетной концентрации, массовой концентрации «сажи», а также осуществлялся забор аэрозоля на фильтры для дальнейшего исследования химического состава [3, 4].

Реализация ранее предложенного нами подхода [5], в котором используется сочетание данных о микроструктуре и химическом составе атмосферных частиц, позволяет оценивать в исследуемых районах вклад континентальных и морских источников в формирование состава приводного аэрозоля Белого моря.

Состав аппаратуры и методики исследования

Исследование дисперсного состава аэрозоля осуществлялось с помощью автоматизированного фотоэлектрического счетчика частиц типа АЗ-5 (256 измерительных диапазонов по размерам частиц от 0,4 до 10 мкм в диаметре) и фотоэлектрического счетчика ПКГТА 0,3-002 (6 диапазонов размеров от 0,3 до 1 мкм). Заборное устройство АЗ-5 распола-

галось по левому борту судна на высоте около 4 м от водной поверхности. Измерения проводились круглосуточно каждый час (24 измерения в сутки). В отличие от ранее проводившихся исследований [5, 6] в состав измерителя АЗ-5 был включен специально разработанный в лаборатории оптики аэрозоля Института оптики атмосферы СО РАН (ЛОА ИОА СО РАН) анализатор спектра с выводом информации на персональный компьютер.

В течение рейса с помощью автоматизированного счетчика получено около 240 спектров размеров аэрозольных частиц. Счетчик ПКГТА располагался на пеленгаторной палубе по правому борту судна на высоте около 8 м от водной поверхности. Измерения проводились в основном в светлое время суток с периодичностью 1 ч. С помощью ПКГТА получено около 70 спектров размеров частиц аэрозолем Белого моря.

Для определения химического состава аэрозоля был осуществлен сбор проб на фильтры. Забор аэрозольного вещества производился двумя установками — стандартным аспиратором частиц и 3-каскадным импактором. Для прокачки воздуха использовалась воздуходувка модели 822 производительностью 20 л/мин в канале аспиратора и 5 л/мин в канале импактора. В качестве фильтров использовалась фильтровальная химически чистая бумага фирмы Whatman (Англия). Установка для забора проб аэрозоля располагалась на пеленгаторной палубе — в зоне минимального искажающего воздействия судна. В каскадном импакторе использовались поочередно три каскада с диаметрами отверстий $d_1 = 7,9$ мм, $d_2 = 5,0$ мм, $d_3 = 3,2$ мм. Неосевшие на препятствии частицы, прошедшие через очередной каскад импактора, собирались на фильтры. При такой организации сбора аэрозоля химический

анализ позволяет провести оценку химического состава для четырех диапазонов спектра размеров частиц аэрозоля с диаметрами более 1 мкм. Периодичность забора проб аэрозоля на фильтры аспиратора составляла 1–2 раза в сутки. В это же время проводился забор проб импактором поочередно для четырех каскадов. В зависимости от аэрозольной и метеорологической обстановки продолжительность забора на фильтры аспиратора составляла от 4 до 14 ч, на фильтры импактора — от 1,5 до 3 ч на один каскад. В течение рейса взято 9 серий проб аэрозоля с помощью аспиратора и 36 проб импактором.

В лабораторных условиях определялся ионный состав: H^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} . Концентрация ионов водорода (H^+) в аэрозоле определялась не прямым методом, а рассчитывалась исходя из измерения величины рН водного экстракта фильтра для сведения баланса ионов, т.е. для оценки правильности определения.

Анионный состав растворимой фракции аэрозолей после экстракции с фильтров бидистиллированной водой определялся методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (микроколоночный хроматограф «Милихром А-02» с погрешностью 4–7%). Катионный — атомно-абсорбционным методом спектрометрии с воздушно-ацетиленовым пламенем (спектрофотометр ААС-30 с погрешностью 4–6%). Нерастворимая часть будет исследована нейтронно-активационным методом и в настоящей работе не обсуждается.

Исследование массовой концентрации «сажи» M_c ($мкг/м^3$) проводилось с помощью специально разработанного в лаборатории оптики аэрозоля ИОА СО РАН оптического измерителя содержания сажи [7], который по принципу действия аналогичен прибору типа «aethalometer» разработки Хансена с соавт. [8]. Работа прибора основана на непрерывных измерениях диффузного ослабления света слоем аэрозольных частиц непосредственно в процессе их осаждения на фильтр из прокачиваемого воздуха. При этом величина регистрируемого диффузного ослабления света слоем частиц прямо пропорциональна поверхностной концентрации поглощающего аэрозольного вещества на фильтре (далее «сажа») и, следовательно, ее массовой концентрации в воздухе [9, 10]. Абсолютная калибровка аэталометра производилась на основе сопоставления данных синхронных оптических и гравиметрических измерений сажевого аэрозоля [11]. Измерения массовой концентрации сажи проводились в автоматическом режиме круглосуточно через 1 ч. За время рейса зарегистрировано 239 серий массовой концентрации сажи в атмосфере Белого моря.

Одновременно с указанными методиками забора аэрозольного вещества на фильтры использовалась методика, позволяющая улавливать изотопы бериллия (7Be) на полотно Петрянова, что дает возможность оценивать потоки аэрозольного космического вещества на поверхность Земли. Исследования по этой методике выходят за рамки настоящей статьи и здесь не обсуждаются.

Использование импактора, каскады которого имеют различную эффективность осаждения крупных частиц более 1 мкм, позволило нам оценить содержание тех или иных ионов в грубодисперсной фракции частиц.

Эффективность осаждения аэрозоля каскадами импактора нами была проверена экспериментально с использованием автоматизированного фотоэлектрического счетчика частиц аэрозольной станции ЛОА ИОА СО РАН.

На рис. 1 приводятся значения концентраций частиц N_i для различных диапазонов размеров, нормированных на концентрацию $N_{0,2}$ ($r = 0,2–0,25$ мкм) после прохождения каскадов импактора. Здесь же приводится рассчитанная эффективность осаждения частиц разных размеров для каждого каскада импактора. Эффективность осаждения для первого каскада (диаметр отверстия $d_1 = 7,9$ мм) составила примерно 20% для частиц $r > 0,5$ мкм, для второго каскада ($d_2 = 5$ мм) — 40% для частиц $r > 0,6$ мкм, третьего каскада ($d_3 = 3,2$ мм) — 60% для частиц $r > 0,9$ мкм.

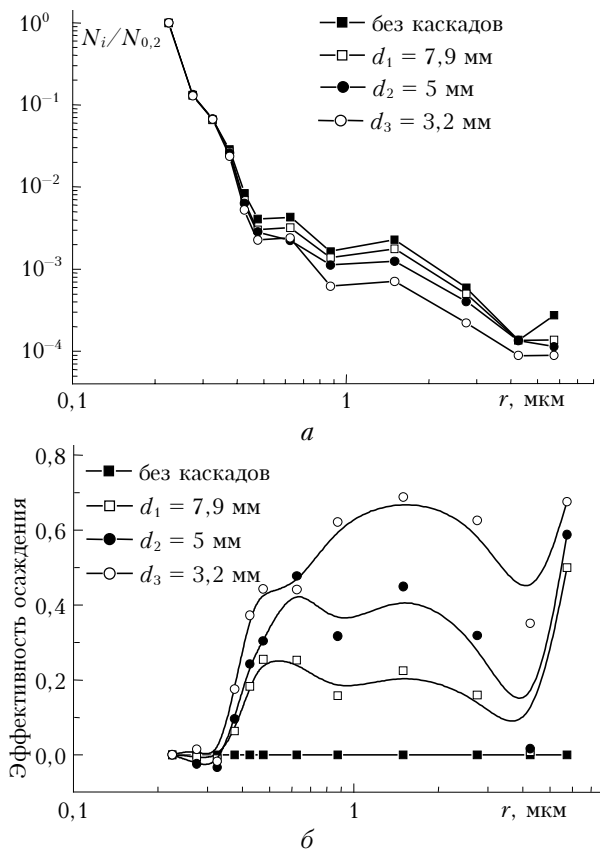


Рис. 1. Оценка эффективности осаждения аэрозольных частиц каскадами импактора: а — значения отношений концентраций частиц различных диапазонов N_i к концентрации первого диапазона $N_{0,2}$ после прохождения каскадов импактора; б — рассчитанная эффективность осаждения частиц аэрозоля для каждого каскада импактора

Сбор аэрозольного вещества на фильтры импактора для химического анализа был организован следующим образом. Каждый поочередно устанавливаемый каскад собирал на препятствии частицы

размерами больше r_i . Частицы аэрозоля, которые прошли через каскад, осаждались на фильтры. Следовательно, каждый каскад выполнял роль отсеки разной эффективности со стороны больших размеров частиц аэрозоля.

И если исследуемый химический элемент находился главным образом в крупных частицах, то его концентрация была максимальной на фильтре без установки каскадов импактора, а минимальной — на фильтре после каскада с максимальным осаждением крупных частиц ($d_3 = 3,2 \text{ мкм}$). Значения концентраций по другим каскадам занимали промежуточное положение. В этом случае считалось, что произошло «разделение» вкладов каждого каскада импактора.

Общая характеристика района и краткий обзор синоптической ситуации

Исследование характеристик аэрозоля проводилось на протяжении всего 55-го рейса НИС «Профессор Штокман». Карта-схема забора проб по маршруту следования судна представлена на рис. 2. Цифрами отмечены участки забора проб аэрозоля аспиратором и импактором. Синоптическая ситуация в период с 20 по 31 августа складывалась следующим образом.

20 августа акватория Белого моря находилась под влиянием юго-западной периферии циклона, центр которого располагался над югом Новой Земли.

В приземном слое наблюдались слабые ветры переменного направления (также отмечался рост давления). В средней атмосфере преобладали северо-западные и западные потоки.

21 августа над районами Белого моря располагался промежуточный гребень. В приземном слое отмечался рост давления. В средней тропосфере происходила перестройка барического поля. Потоки изменились на юго-западные.

22–23 августа с отходом промежуточного гребня малоподвижный циклон, центр которого находился над Ботническим заливом, стал оказывать влияние на акваторию Белого моря (приземное давление падало). В приземном слое преобладал ветер юго-восточного и южного направлений со средней скоростью 5 м/с. На картах барической топографии наблюдалось падение геопотенциала. На западные районы моря распространялся гребень тепла до $+8^\circ\text{C}$, происходило нарастание термических градиентов.

25 августа на районы Белого моря распространялся промежуточный гребень антициклона с центром над Норвегией. Средняя скорость ветра у земли была 4–6 м/с.

С 26 августа через районы Белого моря начал осуществляться выход активных циклонов с юго-запада. В связи с этим в приземном слое атмосферы наблюдалось резкое изменение метеоэлементов. Ветер над морем усиливался до 8–10 м/с. На всех высотах наблюдалось нарастание термических и барических градиентов.

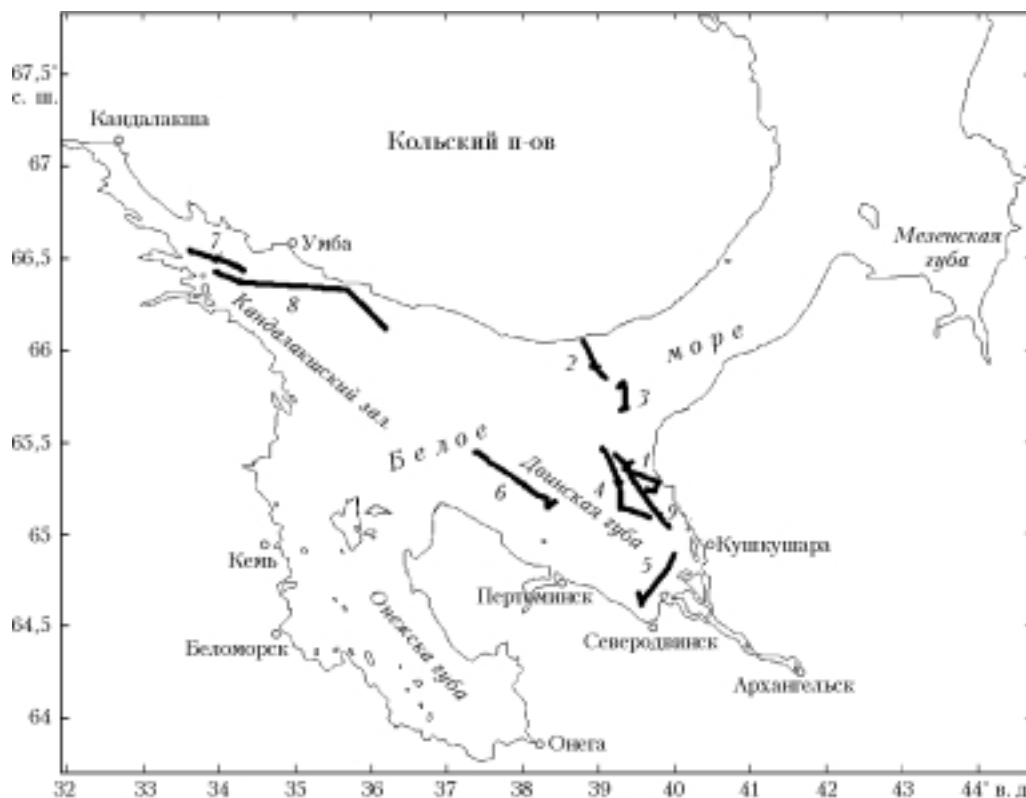


Рис. 2. Карта-схема 55-го рейса НИС «Профессор Штокман» с указанием номеров участков забора проб аэрозоля аспиратором и импактором: 1 – 21.08.03; 2 – 22.08.03 (7.30+15.20 моск. вр.); 3 – 22.08.03 (17.10+21.30 моск. вр.); 4 – 23.08.03; 5 – 24.08.03; 6 – 25.08.03; 7 – 27.08.03; 8 – 28.08.03; 9 – 30.08.03

27 августа центр циклона располагался над Белым морем, в связи с этим в приземном слое ветер временами ослабевал до 2–4 м/с. В центре циклона отмечались туманы.

31 августа начинался выход нового циклона из районов Вологодской области.

Таким образом, синоптическая и метеорологическая ситуации в районе измерений характеризовались в основном как циклональные с высоким баллом облачности (до 10), с кратковременным приходом 25–26 августа антициклона (облачность 5–8 баллов). Наблюдались небольшие штормы в 2–3 балла и один шторм до 4–5 баллов 26–27 августа с приходом циклона. Температура воздуха колебалась от 10 до 14 °С, воды – около 12 °С.

Анализ экспериментальных данных

Общий временной ход основных измеряемых параметров изображен на рис. 3, где представлены временные ходы массовой концентрации «сажи», $\text{мкг}/\text{м}^3$, счетной концентрации частиц диаметрами более 0,4 мкм , измеренной с помощью счетчиков АЗ-5 и ПКГТА, см^{-3} . Отмечаются временные интервалы забора проб аэрозоля на фильтры аспиратора и импактора и на фильтровальное полотно Петрянова. На рис. 3 представлены такие временные изменения приводных значений метеопараметров: скорости ветра, давления, температуры воздуха. Приводятся данные о состоянии морской поверхности в баллах.

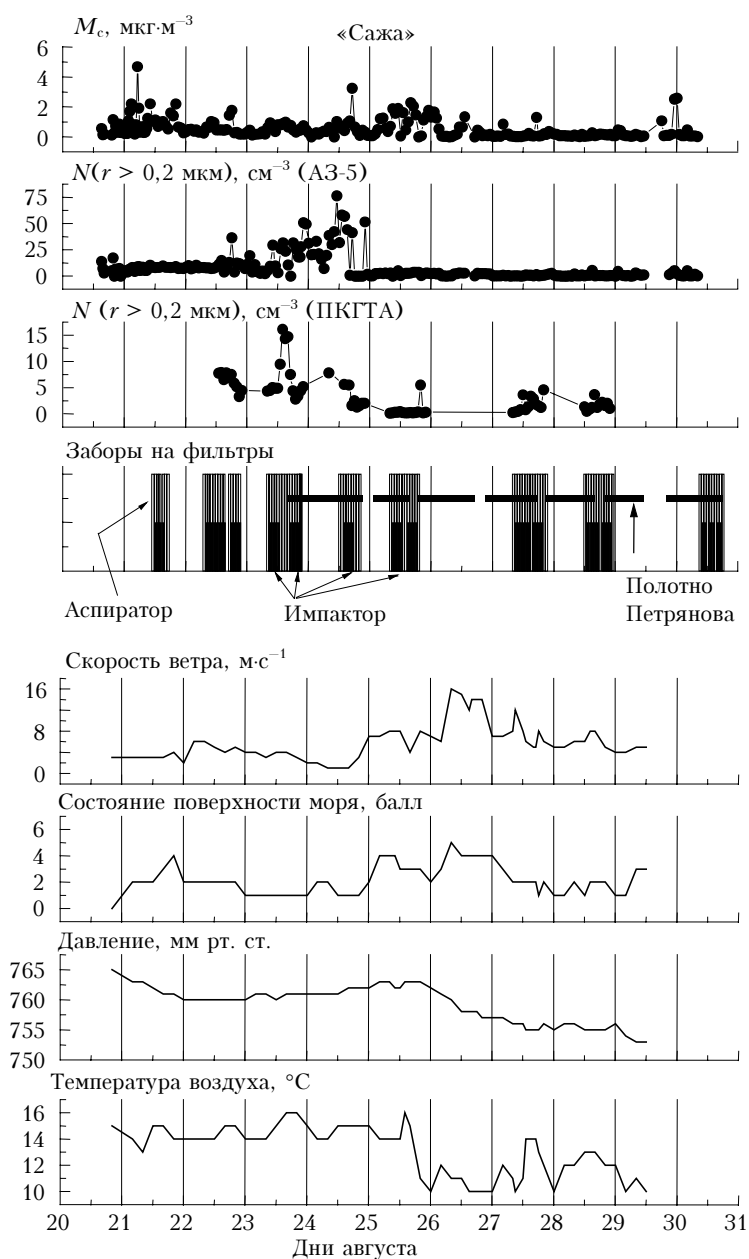


Рис. 3. Общий временной ход измеряемых параметров

Обращает на себя внимание увеличение значений общей концентрации частиц аэрозоля и концентрации «сажи» вблизи промышленных и прибрежных районов (см. рис. 2, 3).

При анализе данных о массовой концентрации «сажи» и микроструктурных параметров учитывалось влияние искажающих факторов, таких как локальные источники техногенного происхождения (дым трубы, выхлопы дизельных двигателей, вытяжка из вентиляционных устройств). Действие таких факторов проявляется в резком увеличении значений измеренных параметров. Это иллюстрируется рис. 3 (23, 24 августа). Искаженные данные исключались из дальнейшего анализа.

Дисперсный состав аэрозоля

На рис. 4 представлены осредненные (по временным интервалам забора проб аэрозоля на фильтры) объемные распределения по размерам для данных, полученных с помощью ПКГТА и АЗ-5. Данные осреднены для временных интервалов забора проб аэрозоля на фильтры. ПКГТА: 1 – 22.08.03, 2 – 22.08.03, 3 – 23.08.03, 4 – 24.08.03, 5 – 25.08.03, 6 – 27.08.03, 7 – 28.08.03; АЗ-5: 8 – 23.08.03, 9 – 25.08.03, 10 – 27.08.03

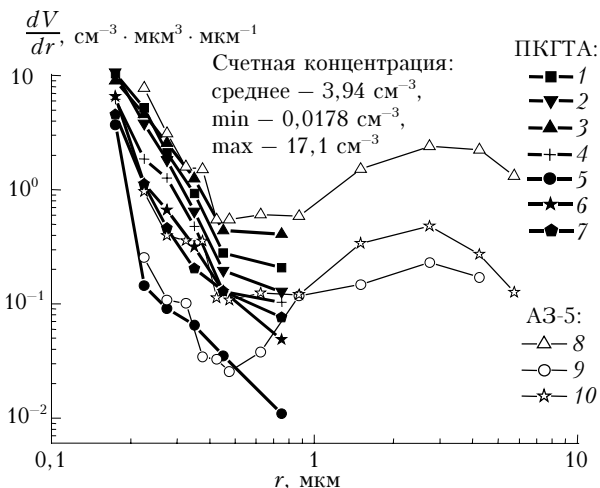


Рис. 4. Объемные распределения по размерам для данных, полученных с помощью ПКГТА и АЗ-5. Данные осреднены для временных интервалов забора проб аэрозоля на фильтры. ПКГТА: 1 – 22.08.03, 2 – 22.08.03, 3 – 23.08.03, 4 – 24.08.03, 5 – 25.08.03, 6 – 27.08.03, 7 – 28.08.03; АЗ-5: 8 – 23.08.03, 9 – 25.08.03, 10 – 27.08.03

Характерным для функции распределения частиц по размерам является отсутствие выраженного максимума в субмикронной области размеров, который отмечался нами и другими исследователями для других районов Мирового океана [6].

Концентрация субмикронных частиц увеличивается с приближением к континенту и промышленным районам. Увеличение выраженности грубодисперсной фракции наблюдается с увеличением скорости ветра (см. рис. 3).

Среднее значение счетной концентрации аэрозольных частиц составило – 3,94; минимальное 0,0178, а максимальное – 17,1 см⁻³, что является характерным для районов с малым содержанием аэрозоля таких, например, как районы северной Атлантики и Арктики [1, 2, 12].

Поведение функции распределения частиц по размерам в общих чертах можно описать с помощью отношения концентраций частиц субмикронного и грубодисперсного диапазонов $N_{суб}/N_{гр}$. В нашем случае этот интегральный параметр приобретает вид $N(r = 0,2 \div 0,5) / N(r = 0,5 \div 1 \text{ мкм})$, что позволяет оценивать поведение функции распределения частиц аэрозоля по размерам в диапазоне, определяющем оптические характеристики аэрозоля в видимой области спектра. Характер поведения этого интегрального параметра дисперсности распределения частиц по размерам (рис. 5) указывает на то, что в первых пяти участках забора проб распределение по размерам характеризуется более высоким содержанием мелкодисперсных частиц по сравнению с точками 6–9, где увеличивается выраженность грубодисперсной фракции.

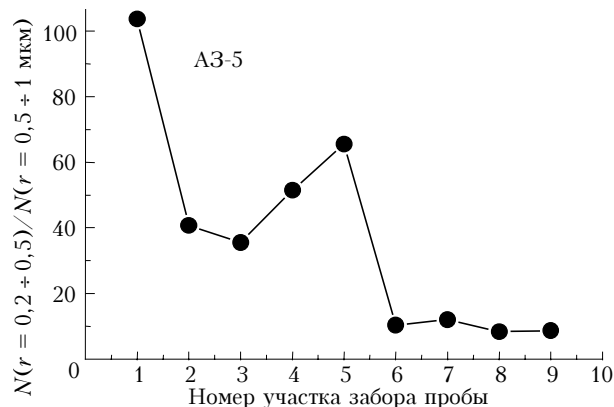


Рис. 5. Отношение концентраций субмикронной и грубодисперсной фракций

Некоторые результаты обработки измерений «сажи»

Временной ход среднесуточных значений массовой концентрации «сажи» M_c (кривая 1) и счетной концентрации частиц N по данным ФСЧ АЗ-5 (2) в период 55-го рейса НИС «Профессор Штокман» представлен на рис. 6.

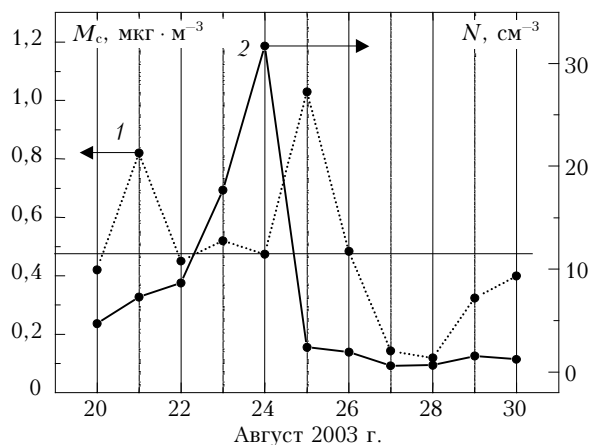


Рис. 6. Временной ход среднесуточных значений параметров

За период измерений среднесуточные значения концентрации «сажи» в приводной атмосфере изменялись в значительных пределах: в среднем от

0,1 до 1 мкг/м³. Действительно, география работ в 55-м рейсе НИС «Профессор Штокман» охватывает районы, которые, по всей видимости, подвержены антропогенному воздействию локальных источников загрязнений воздуха. Так, данные за 27 и 28 августа соответствуют северо-западной зоне измерений, наиболее удаленной (примерно на 300 км) от промышленного района в устье Северной Двины, и характеризуются наиболее низкими значениями содержания «сажи» и аэрозоля (условно фоновый район измерений). Сравнительно невысоким уровнем содержания аэрозоля и «сажи» характеризуется также северная зона маршрута (22 августа). Повышенные же уровни аэрозольного загрязнения воздуха наблюдались на участках, прилегающих к устью р. Северная Двина (24 августа) и южного участка маршрута (25 августа).

Возможной причиной несовпадения суточных максимальных значений концентрации аэрозольных частиц и «сажи» может быть весьма неустойчивая погодная ситуация с 24 по 26 августа, которым соответствует период смены воздушных масс (циклон – антициклон), повышенные уровни скорости ветра и волнения морской поверхности, значительные изменения давления и температуры воздуха. По-видимому, определенный вклад в динамику внесли также и осадки за период измерений: 24 августа в первой половине дня наблюдался туман, весь день 26 августа и вечер 27 августа были дождливыми. Однако несмотря на отмеченные различия, в целом наблюдаются близкие пространственно-временные тенденции изменения концентраций аэрозоля и «сажи».

Значения массовой концентрации «сажи», осредненные для соответствующих временных интервалов забора аэрозоля на фильтры, представлены на рис. 7.



Рис. 7. Средние значения массовой концентрации «сажи», соответствующие временным интервалам забора аэрозоля на фильтры для химического анализа

Химический анализ полученного материала

Одним из важных источников аэрозоля над морем являются солевые частицы, образующиеся в результате распыления морской воды и захлопывания воздушных пузырьков, достигающих морской поверхности [13]. Эти механизмы во многом определяют

дисперсный и химический состав аэрозоля. Для оценки вклада этого источника важным становится анализ соотношений концентраций отдельных химических элементов, характерных для морской воды.

Будем рассматривать поведение отдельных ионов, нормированных на концентрацию Cl, концентрация которого самая высокая и в составе морской воды, и в наших пробах.

Кроме того, будем рассчитывать «превышения» содержания ионов в аэрозоле по сравнению с морской водой по формуле:

$$\Delta R_i = (R_i - kN_{Cl}) / (kN_{Cl}),$$

где R_i – концентрация i -го иона в аэрозоле; N_{Cl} – концентрация ионов хлора в аэрозоле; k – соотношение содержания R_i и N_{Cl} в морской воде.

Для анализа вклада в ионный состав аэрозоля континентальных источников и моря будем использовать фактор V_{cont} – «фактор заполнения за вычетом удельного объема аэрозоля, образовавшегося из морской воды», который вычисляется по формуле:

$$V_{cont} = \Sigma_i(R_i - kN_{Cl}) / \Sigma_i R_i,$$

где $\Sigma_i R_i$ – суммарная концентрация всех измеренных ионов в аэрозоле, а $\Sigma_i(R_i - kN_{Cl})$ – суммарная концентрация всех ионов за вычетом ионов, образовавшихся из морской воды, при этом «фактор заполнения аэрозоля, образовавшегося из морской воды», будет вычисляться по формуле

$$V_{ocean} = 1 - V_{cont}.$$

Данные V_{cont} и V_{ocean} для аспиратора представлены на рис. 8, из которого видно, что для первых пяти точек участков проб ионный состав формировался в примерно равных пропорциях континентальными источниками и солями морской воды. Для последующих четырех участков ионный состав формировался главным образом морскими источниками.

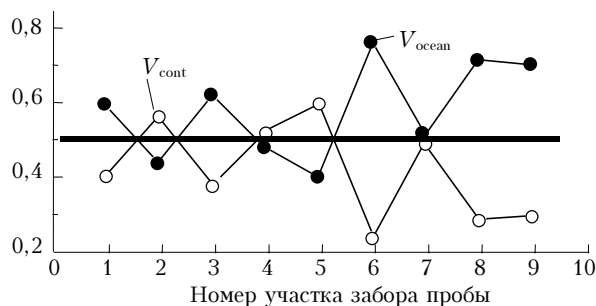


Рис. 8. Расчетные данные V_{cont} и V_{ocean} , приведенные в долях единицы

Соотношение Cl^-/Na^+ в наших измерениях (рис. 9) близко к значению, характерному для морской воды [13], и попадает в пределы значений, полученных другими авторами [13–17], область этих значений заштрихована.

Анализируя данные рис. 9, следует отметить идентичное поведение «превышений» и нормированных значений ионов, в частности для SO_4^{2-} и Ca^{2+} . Ярко выраженные «превышения» значений элементов над морским соотношением наблюдается для

ионов H^+ , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} . Это указывает на их «неморское» происхождение.

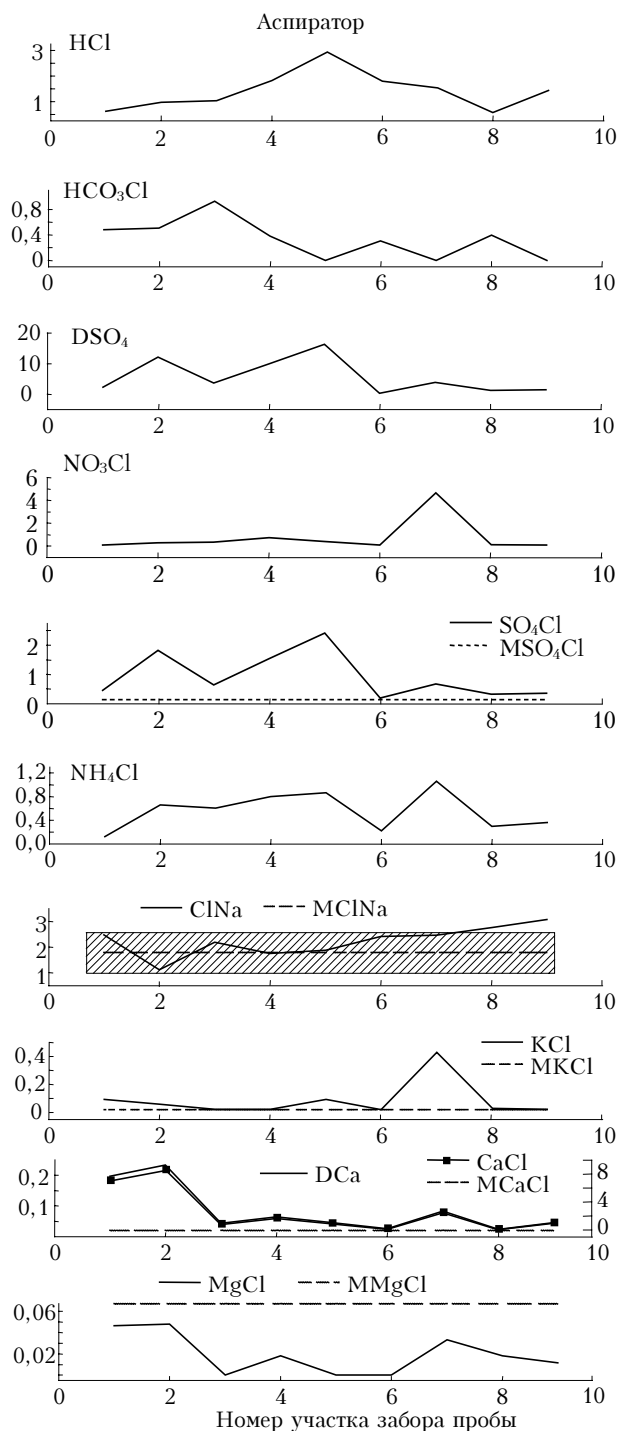


Рис. 9. Поведение концентраций отдельных ионов, нормированных на концентрацию Cl^- и «превышения». Обозначения: DSO_4 , DCa – «превышения», рассчитанные для ионов SO_4^{2-} и Ca^{2+} соответственно; HCO_3Cl , NO_3Cl , SO_4Cl , NH_4Cl , KCl , $CaCl$, $MgCl$ – отношение концентраций ионов HCO_3^- , NO_3^- и т.д. к концентрации Cl^- ; $MClNa$, $MKCl$, $MCaCl$, $MMgCl$ – отношение концентраций ионов Cl^- , K^+ и т.д. к концентрации Na^+ или Cl^- для морской воды

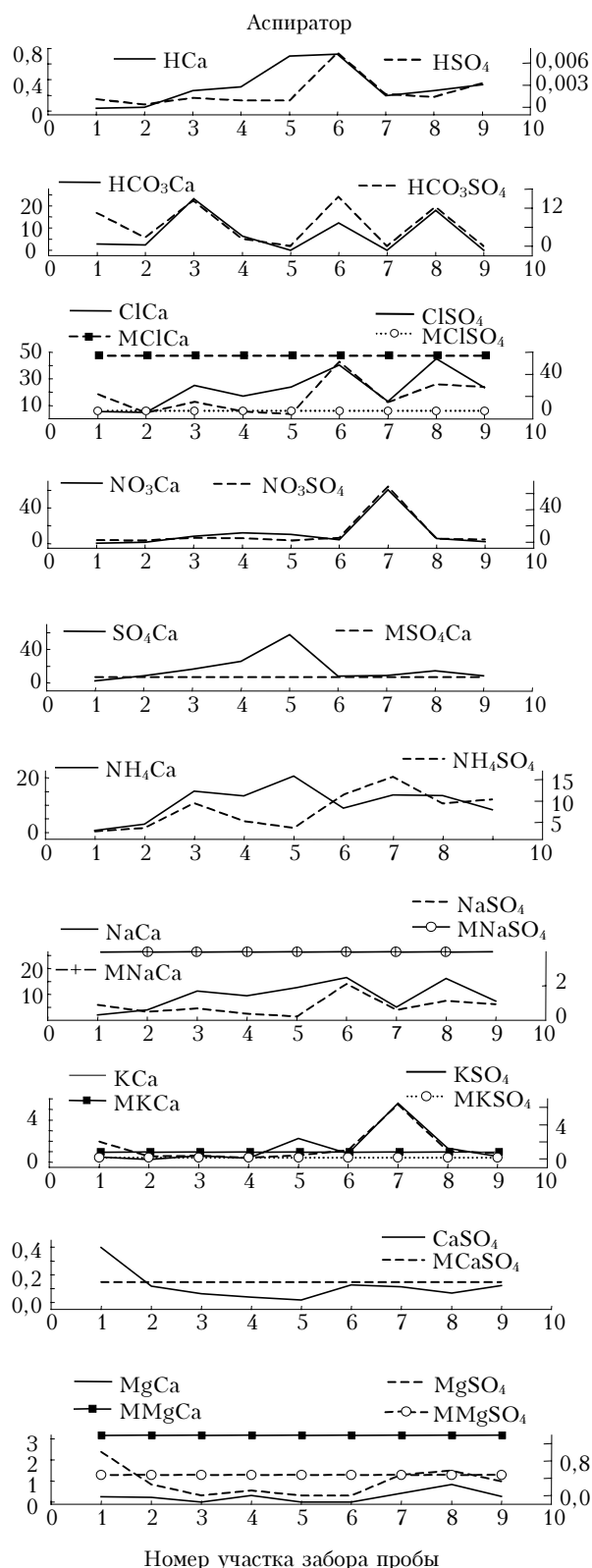


Рис. 10. Поведение концентраций отдельных ионов, нормированных на концентрацию SO_4^{2-} и Ca^{2+} . Обозначения: HCa , HCO_3Ca , ... – отношение концентраций ионов H^+ , HCO_3^- , ... к концентрации Ca^{2+} ; HSO_4 , HCO_3SO_4 , ... – отношение концентраций ионов H^+ , HCO_3^- , ... к концентрации SO_4^{2-} ; $MClCa$, $MClSO_4$, ... отношение концентраций ионов Cl^- и Ca^{2+} , Cl^- и SO_4^{2-} , ... для морской воды

Принято считать, что сульфатные (SO_4^{2-}) аэрозоли в основном относятся к мелкодисперсным частицам и имеют субмикронные размеры. Аэрозоли, содержащие кальций (Ca^{2+}), в основном относятся к крупным частицам (размерами более 1 мкм). С учетом этого обстоятельства нами были рассмотрены значения концентраций отдельных ионов, нормированных на концентрацию кальция и сульфатов (рис. 10).

Анализируя поведение и сопоставляя друг с другом: а) параметр дисперсности распределения $N(r = 0,2 \div 0,5) / N(r = 0,5 \div 1 \text{ мкм})$ (см. рис. 5); б) факторы заполнения V_{cont} и V_{ocean} (см. рис. 8); в) соотношения концентраций отдельных ионов, нормированных на концентрацию Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} (рис. 9, 10), можно сделать следующие *качественные выводы для данных, полученных в эксперименте с аспиратором*:

- ионы Cl^- , Na^+ главным образом обнаруживаются в грубодисперсных частицах и имеют морское происхождение;

- ионы Ca^{2+} тоже обнаруживаются в основном в грубодисперсных частицах, но имеют континентальное происхождение;

- ионы SO_4^{2-} и NH_4^+ принадлежат преимущественно к мелкодисперсному аэрозолю и имеют континентальное происхождение;

- ионы HCO_3^- могут находиться как в мелкодисперсных, так и грубодисперсных частицах и имеют как морское, так и континентальное происхождение;

- максимальные значения ионов NO_3^- и K^+ обнаруживаются в Кандалакшском заливе и вклады моря и континента в формирование концентраций этих ионов приблизительно одинаковы;

- повышенные значения концентрации ионов Mg^{2+} наблюдаются в районах, близких к континентальным промышленным источникам аэрозолей, соотношение концентрации этого иона к другим ионам значительно ниже, чем для морской воды.

Рис. 11 и 12 иллюстрируют «разделения» вкладов каждого каскада импактора для ионов Cl^- для 5-го участка забора пробы, ионов $\text{H}^+/\text{Ca}^{2+}$ (нормирован на Ca^{2+}) и $\text{H}^+/\text{SO}_4^{2-}$ для 6-го участка, ионов $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, $\text{NH}_4^+/\text{Ca}^{2+}$, $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$, $\text{Cl}^-/\text{Ca}^{2+}$ для 2-го и 6-го участков (эти участки обведены пунктирной линией).

В остальных случаях такого «разделения» не происходит. Это может зависеть от нескольких причин. Во-первых, – от недостаточного количества статистического материала. Во-вторых, – от неоднородности аэрозоля по трассе забора пробы. В-третьих, – от присутствия ионов только в мелкодисперсных частицах, которые импактор не разделяет. В-четвертых, – от наличия методических погрешностей эксперимента.

Несмотря на множество мешающих факторов, полученные результаты позволяют подтвердить ранее сделанные выводы для аспиратора, а также иллюстрируют возможности самого импакторного метода.

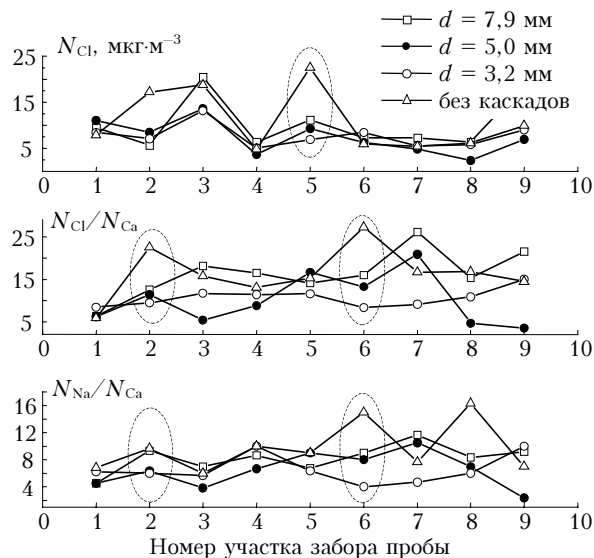


Рис. 11. Концентрация Cl^- и отношение концентраций ионов Cl^- и Na^+ к концентрации Ca^{2+} для данных, полученных при установке каскадов импактора и без установки каскадов

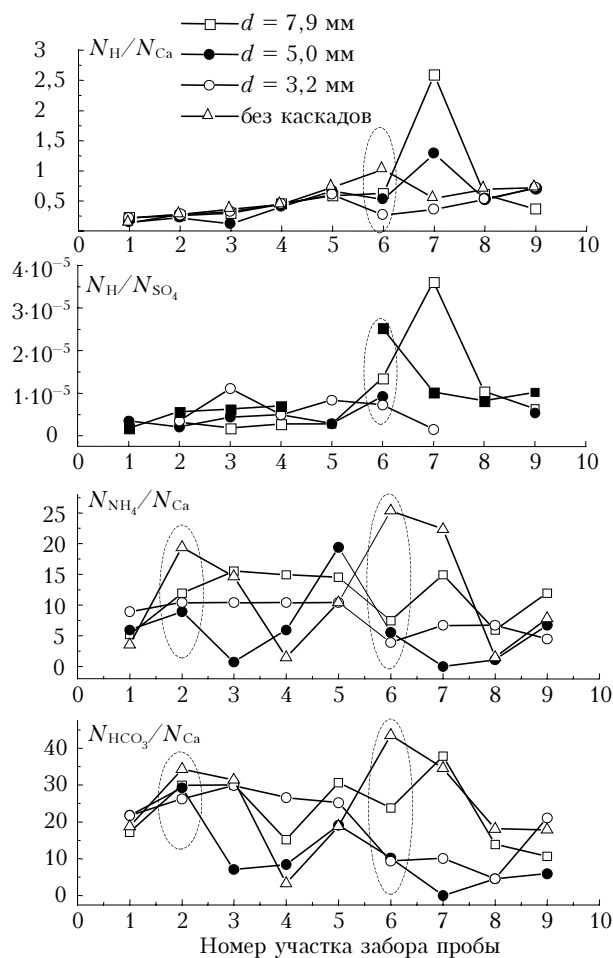


Рис. 12. Отношение концентраций отдельных ионов к концентрации SO_4^{2-} и Ca^{2+} для данных, полученных при установке каскадов импактора и без установки каскадов

Выводы

Получены данные о взаимосвязи отдельных химических элементов (ионов) аэрозольного вещества в приводном слое с дисперсностью аэрозольных частиц.

Данные об ионном составе вещества, собранного при помощи импактора, позволяют установить взаимосвязь микрофизического и ионного состава с данными аспиратора и уточнить ионный состав для грубодисперсных частиц (более 1 мкм).

Авторы благодарят экипаж НИС «Профессор Штокман» за помощь в экспедиции и Вас.В. Польшкина за участие в измерениях.

Работа выполнена при поддержке проекта Президиума РАН 14.1 («Мировой океан»), Отделения наук о Земле РАН (проект «Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли») и Минпромнауки России (грант № НШ-1940.2003.5).

1. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А., Смирнов В.В., Серова В.В., Штайн Р. Аэрозоли Арктики – результаты десятилетних исследований // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13. № 6–7. С. 551–576.
2. Shevchenko V.P. The influence of aerosols on the oceanic sedimentation and environmental conditions in the Arctic // *Ber. Polarforsch.* 2003. N 464. 149 p.
3. Польшкин В.В., Голобокова Л.П., Козлов В.С., Коробов В.Б., Лисицын А.П., Панченко М.В., Пескова М.А., Шевченко В.П., Ходжер Т.В. Исследования микрофизического и химического составов аэрозоля в 55-м рейсе НИС «Профессор Штокман» // X Рабочая группа «Аэрозоли Сибири»: Тезисы докл. Томск, 25–28 ноября 2003 г. С. 17.
4. Польшкин В.В., Польшкин Вас.В., Панченко М.В., Козлов В.С., Лисицын А.П., Шевченко В.П. Аэрозольные исследования в 55-м рейсе НИС «Профессор Штокман» в Белое море // XV Междунар. науч. школа по морской геологии «Геология морей и океанов», 17–21 ноября 2003 г. М.: ГЕОС, 2003. Т. 2. С. 112–113.
5. Панченко М.В., Польшкин В.В., Голобокова Л.П., Чубаров М.П., Нецветаева О.Г., Домышева В.М. Влияние континента на дисперсный и химический со-

став приводного аэрозоля Атлантики // Оптика атмосф. и океана. 1997. Т. 10. № 7. С. 741–750.

6. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Польшкин В.В. Атмосферно-оптические исследования в 35-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» // Оптика атмосф. и океана. 1995. Т. 8. № 12. С. 1767–1777.
7. Kozlov V.S., Panchenko M.V., Tumakov A.G., Shmargunov V.P., Yausheva E.P. Some peculiarities of the mutual variability of the content of soot and submicron aerosol in the near-ground air layer // *J. Aerosol Sci.* 1997. V. 28. Suppl. 1. P. S231–S232.
8. Hansen A.D.A., Rosen H., Novakov T. The aethalometer – an instrument for the real-time measurement of optical absorption by aerosol particles // *Sci. Total Environ.* 1984. V. 36. N 1. P. 191–196.
9. Rosen H., Novakov T. Optical transmission through aerosol deposits on diffusely reflective filters – a method for measuring the absorbing component of aerosol particles // *Appl. Opt.* 1983. V. 22. N 1. P. 1265–1267.
10. Clarke A.D. Effects of filter internal reflection coefficient on light absorption measurements made using the integrating plate method // *Appl. Opt.* 1982. V. 21. № 16. P. 3021–3031.
11. Baklanov A.M., Kozlov V.S., Panchenko M.V., Anki-
lov A.N., Vlasenko A.L. Generation of soot particles in submicron range // *J. Aerosol Sci.* 1998. V. 29. P. 919–920.
12. Кабанов Д.М., Панченко М.В., Польшкин В.В., Сакерин С.М. О взаимосвязи интегральных и локальных характеристик аэрозоля в атмосфере над океаном // IV Симп. «Оптика атмосферы и океана». 10–13 июня: Тезисы докл. Томск, 1997. С. 116–117.
13. Chester R. *Marine Geochemistry*. London: Unwin Hyman, 1990. 698 p.
14. Ивлев Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. 358 с.
15. Корж В.Д. Закономерность фракционирования химических элементов в процессе их выноса из океана в атмосферу // Докл. АН СССР. 1987. Т. 292. № 4. С. 822–827.
16. Савенко В.С. Средний элементарный химический состав океанского аэрозоля // Докл. АН СССР. 1988. Т. 299. № 2. С. 465–468.
17. Донченко В.К., Ивлев Л.С. Об идентификации аэрозолей разного происхождения // Сб. тр. третьей Междунар. конф. «Естественные и антропогенные аэрозоли». СПб., 24.09–27.09.2001. СПб., 2001. С. 41–52.

V.V. Pol'kin, L.P. Golobokova, V.S. Kozlov, V.B. Korobov, A.P. Lisitsyn, M.V. Panchenko, M.A. Peskova, T.V. Hodzher, V.P. Shevchenko. **Estimation of connection of microphysical and chemical structures for the aerosol in the near-sea layer of the White Sea.**

Results of scientific researches of mass concentration of soot, chemical composition, number density and microstructure of aerosol in the near-sea layer in various areas of the White Sea, obtained during 55-th cruise of the research vessel «Professor Shtokman» are discussed. Correlation of chemical elements (ions) of aerosol substance with disperse composition of aerosol particles are investigated.