

ОПТИКА КЛАСТЕРОВ, АЭРОЗОЛЕЙ И ГИДРОЗОЛЕЙ

УДК 551.510+551.521.3

Вариации микрофизических параметров аэрозоля приземного слоя атмосферы в переходной зоне «материк—океан»

**К.А. Шмирко¹, А.Н. Павлов¹, С.Ю. Столярчук¹, О.А. Букин²,
А.А. Бобриков², В.В. Польшкин³, Nguyen Suan An^{4*}**

¹Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5, Россия

²Морской государственный университет им. Адмирала Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, Россия

³Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1, Россия

⁴Institute of Geophysics (IGP)
A8, 18 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Hanoi, Vietnam

Поступила в редакцию 25.04.2013 г.

Приводятся результаты исследований вариаций микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля в приземном слое в переходной зоне «материк—океан». Анализируются данные измерений, проводившихся за период с 01.08.2010 по 31.12.2012 г. на лидарной станции ИАПУ ДВО РАН (г. Владивосток). Получены характерные для исследуемого региона значения массовой концентрации субмикронного аэрозоля, сажи и функции распределения частиц по размерам. В зимнее время, характеризуемое северными ветрами и относительной влажностью порядка $(50 \pm 20)\%$, доминирующим является сухой, континентальный аэрозоль, а счетная концентрация N_a имеет повышенные значения с максимумами в интервале от 100 до 120 см^{-3} . Летом, когда господствуют южные ветры, а влажность достигает примерно 98%, преобладает морской аэрозоль, а N_a принимает значения в диапазоне от (5 ± 5) в июне 2011 г. до (44 ± 20) см^{-3} в июле 2011 г. Суточный ход массовой и числовой концентрации наиболее явно выраженную периодичность имеет зимой. Модальный радиус частиц субмикронной фракции принимает значения от 0,275 мкм (в летний период) до 0,375 мкм (в зимний период), мода грубодисперсной фракций — 1,05 и 2,5 мкм соответственно. Сезонный и суточный ход массовой концентрации сажи M_{BC} наиболее стабилен, а диапазон значений варьируется от $(0,5 \pm 0,5)$ (начало лета) до $(3,0 \pm 2,0)$ $\text{мкг}/\text{м}^3$ (январь—февраль). Установлено, что суточные вариации M_{BC} в Сибирском регионе (г. Томск) и переходной зоне «материк—океан» (г. Владивосток) имеют схожую форму, однако во втором случае размах вариации M_{BC} больше и максимален в зимний период.

Ключевые слова: атмосферный аэрозоль, переходная зона «материк—океан», Приморье; atmospheric aerosol, transitional zone “land—ocean”, Primorye.

Введение

Аэрозоль, наряду с парниковыми газами и облачностью, играет важную роль в формировании климата Земли. В общем случае на изменчивость аэрозольных полей оказывает влияние множество факторов: малое время жизни тропосферного аэрозоля, неоднородность подстилающей поверхности и присутствие интенсивных источников генерации аэрозоль-

ных частиц, многообразие типов аэрозоля (сульфатный, сажевый, минеральный, морской и т.д.) и адвекция аэрозоля из районов с различной доминантой типа с трансформацией микрофизических характеристик аэрозольных частиц в процессе дальних переносов. Дальневосточный регион относится к тем районам, где в значительной степени представлены все перечисленные факторы. Атмосфера региона подвержена воздействию пылевого аэрозоля из аридных районов Северного Китая и Монголии [1, 2], индустриального аэрозоля из северо-восточных провинций Китая и Кореи, эмиссии аэрозоля из Юго-Восточной Азии [3] и, наконец, морского аэрозоля.

Подчеркивая необходимость детального изучения свойств аэрозоля в региональном масштабе, можно отметить, что увеличение его эмиссии в одном

* Константин Александрович Шмирко (kshmirko@gmail.com); Андрей Николаевич Павлов (anpavlov@iasp.dvo.ru); Сергей Юрьевич Столярчук (systolar@mail.ru); Олег Алексеевич Букин (o_bukin@mail.ru); Алексей Алексеевич Бобриков (rostok661@mail.ru); Виктор Викторович Польшкин (victor@iao.ru); Nguyen Suan An' (nxuananh05@gmail.com).

регионе может вызвать существенные климатические изменения в соседних, подветренных регионах. Последние исследования причин изменения климата показывают, что прямое воздействие аэрозоля на климатические системы в Тихоокеанском Азиатском регионе проявляется в существенном ослаблении Азиатского муссона как в летний, так и зимний периоды года. На основе анализа полей скорости ветра и солнечной радиации, достигающей поверхности Земли на территории Китая, авторами [4] была показана значимая связь между скоростью приземного ветра и солнечной радиацией, которая в приземном слое в условиях безоблачной атмосферы чувствительна к изменениям аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы, величина которой пропорциональна концентрации взвешенных частиц. Обобщение результатов наблюдений АОТ атмосферы Китая за период с 1960 по 1980 г. показывает 25% увеличение АОТ [5]. В то же время в период с 1969 по 2000 г. среднегодовая величина скорости ветра, ассоциируемого с Азиатским муссоном, уменьшилась на 28%, а число ветреных дней (среднесуточная скорость ветра > 5 м/с) снизилось на 58%.

Приведенные выше аргументы свидетельствуют о том, что повышение АОТ атмосферы и связанного с ним экранирующего действия аэрозоля, которые в большей мере сказываются над континентальными областями переходной зоны «материк–океан», приводят к уменьшению температурного и барического контраста между континентальной и морской атмосферой, устраняя тем самым или ослабляя основную причину муссонных ветров [6, 7]. Увеличение содержания аэрозоля в атмосфере, особенно углеродного антропогенного, приводит к изменению температурного режима атмосферы (полукосвенный эффект) и к изменению капельной структуры облачности, отражающейся как на альбедо облачности, так и на характере осадков (косвенный эффект). Совокупное прямое и косвенное воздействие аэрозоля на климат привело за последние несколько десятилетий к существенному изменению атмосферной циркуляции и водного цикла в районах Восточной Азии [7, 8].

В настоящей статье представлены результаты исследований микрофизических свойств аэрозолей приземного слоя атмосферы, проводившихся на лидарной станции ИАПУ ДВО РАН (Владивосток) в период с августа 2010 по декабрь 2012 г. Для Дальневосточного Приморья характерен ярко выраженный муссонный климат с преобладанием ветров южного направления в летний период и северного направления – в зимний. Зимний и летний муссоны определяют сезонную изменчивость микрофизических характеристик и доминанты типа аэрозоля в атмосфере Владивостока. В летнее время в атмосфере доминирует морской аэрозоль, формирующийся над акваторией Японского моря, а в зимний период – континентальный. Благодаря орографии местности ветры зимнего муссона приносят не только континентальный аэрозоль из северных районов Приморья, но и индустриальный из северных провинций Китая. Орографические особенности местности, разнообразие свойств подстилающей поверхности и источников аэрозоля вносят свой вклад и в суточную

изменчивость микрофизических и оптических характеристик приземного аэрозоля. На суточную изменчивость характеристик аэрозоля в летний период времени оказывают влияние такие атмосферные процессы, как горно-долинная и бризовая циркуляции, а в зимний – суточная динамика приземных температурных инверсий и низкоуровневых струйных течений.

Для сопоставления результатов исследований характеристик приземного аэрозоля в Дальневосточном и Западно-Сибирском регионах мы использовали аппаратуру измерения и методики расчета микрофизических характеристик аэрозоля Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева [9].

Аппаратура и методы

Для измерения параметров аэрозольных частиц использовался аппаратно-программный комплекс, состоящий из нефелометра, аэталометра и счетчика частиц [10]. Регистрация параметров аэрозольных частиц велась круглосуточно с периодичностью 1 ч. Нефелометр типа ФАН (рабочая длина волны 0,51 мкм) измерял коэффициент направленного рассеяния сухой основы субмикронных частиц μ под углом 45° . Оценка массовой концентрации субмикронного аэрозоля проводилась согласно выражению M_a (мкг/м³) = 2,4 μ , в соответствии с однопараметрической моделью атмосферных дымок [11] для средней плотности частиц 1,5 г/м³. Чувствительность прибора составляла $1 \cdot 10^6$ м⁻¹. Массовая концентрация поглощающего вещества (Black Carbon – BC, «сажа») M_{BC} в составе аэрозольных частиц измерялась при помощи аэталометра [10]. Он реализует метод измерения диффузного ослабления света слоем аэрозольных частиц в процессе их осаждения на фильтр, который затем пересчитывается в массовую концентрацию сажи [12]. Точность измерения аэталометром составляла 0,1 мкг/м³ при прокачке через прибор 20 л воздуха. Диапазон измеряемых концентраций варьируется от 0,1 до 100 мкг/м³. Измерения функций распределения частиц по размерам $f(r)$, счетной концентрации частиц N_a , а также концентрации субмикронного N_f (в диапазоне диаметров $d = 0,4 \div 1$ мкм) и грубодисперсного N_c ($d = 1 \div 2$ мкм) аэрозолей осуществлялись фотоэлектрическим счетчиком частиц АЗ-5.

Для контроля метеорологических условий на станции зондирования ИАПУ ДВО РАН использовались данные измерений на метеорологической станции номер 31960 Всемирной метеорологической сети [13]. При обработке данных к исходному массиву последовательно применялись следующие алгоритмы фильтрации: 1) по диапазону измеряемых значений; 2) по дисперсии и 3) в скользящем окне. Первый алгоритм фильтрации заключается в отбросе заведомо ошибочных значений, которые лежат вне допустимого интервала. Фильтрация по второму алгоритму заключается в отбросе данных, которые не попадают в интервал среднеквадратического отклонения (СКО). Расчет СКО для каждого элемента массива осуществлялся в скользящем окне разме-

ром w . Третий алгоритм фильтрации состоял в следующем: для заданного w значение элемента массива x_i заменялось средним только в том случае, если более 50% всех данных в пределах окна усреднения имели определенные (не NaN) значения. В противном случае оно заменялось на NaN . Для определения сезонного хода w выбиралось равным 30 сут, а для получения суточного хода w принималось равным 2.

Расчет нормированного среднесезонного суточного хода характеристик атмосферного аэрозоля выполнялся по формуле

$$\tilde{M} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{M_i}{\bar{M}},$$

где N – число измерений в сезоне; M_i – измеряемый параметр; \bar{M} – среднесуточное значение измеряемой величины.

Метеорологическая обстановка

Свойства атмосферных аэрозолей в значительной степени зависят от конкретной метеорологической обстановки в регионе, в частности наибольший вклад вносят такие факторы, как относительная влажность, которая напрямую связана с процессами трансформации частиц, а также скорость и направление ветра, которые определяют доминирующий тип аэрозоля. Как отмечал Розенберг [14], повышение относительной влажности воздуха выше ее критического значения (70–80%) приводит к тому, что состоящие из растворимых солей аэрозольные частички начинают абсорбировать атмосферную влагу, а это приводит к изменению их оптических, микрофизических и агрегатных свойств.

Анализ временного хода среднесезонных значений основных метеорологических параметров (рис. 1, а)

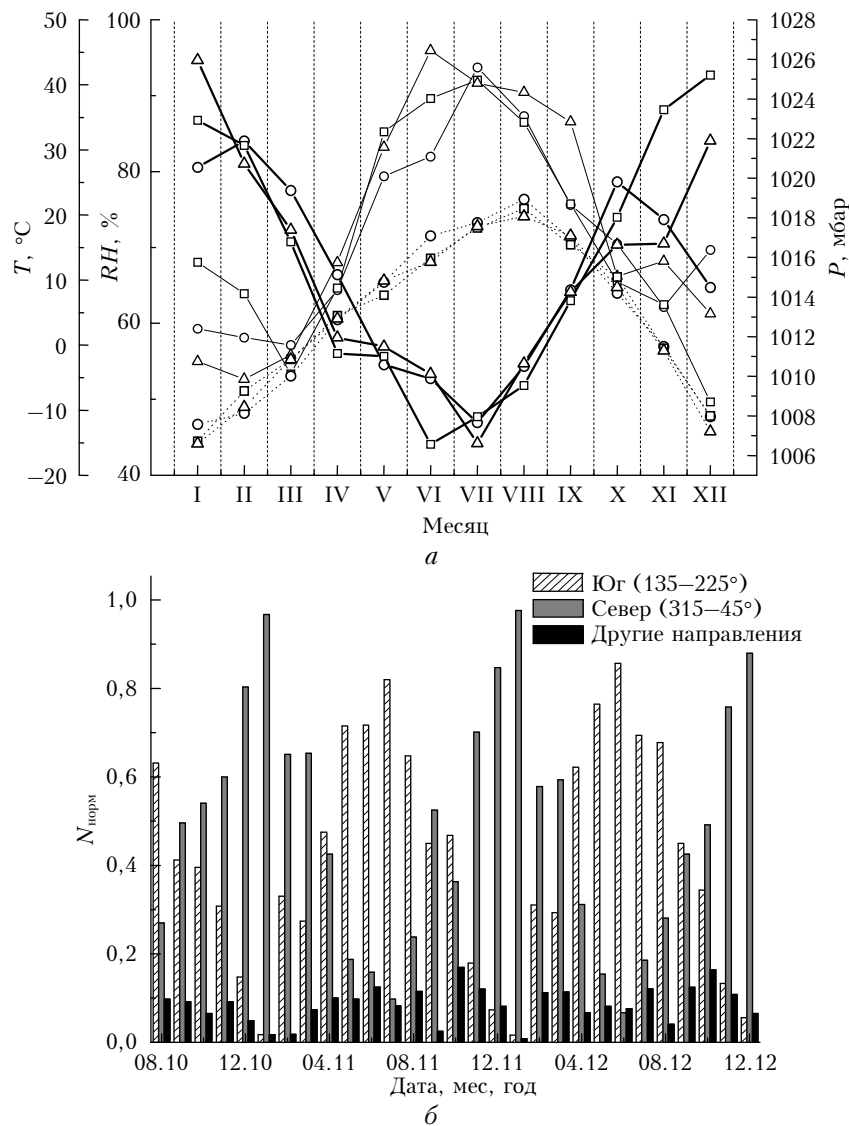


Рис. 1. Среднемесячные значения метеорологических характеристик приземного воздуха для г. Владивостока. Жирные линии – давление, тонкие – влажность, пунктирные – температура. Круги – 2010 г.; квадраты – 2011 г.; треугольники – 2012 г. (а). Гистограмма повторяемости северных и южных ветров в различное время для г. Владивосток. В скобках указан диапазон направлений (б)

показал, что среднегодовая изменчивость параметров характерна для умеренного муссонного климата. Максимум влажности достигается в июле и составляет $(98 \pm 10)\%$, а минимум в марте и равен $(50 \pm 20)\%$. Вариации среднемесячной температуры воздуха варьируются в диапазоне значений от -12 до $+21$ °С, принимая экстремальные значения в январе и августе соответственно. Сезонный ход атмосферного давления изменяется от 1007 в июле до 1026 мбар в январе и декабре. Из анализа межгодовой вариации метеорологических характеристик было получено, что наибольшие отклонения наблюдаются на графиках временного хода относительной влажности и атмосферного давления с конца осени и до конца зимы.

Что касается ветра, то из гистограммы повторяемости (рис. 1, б) следует, что на территории переходной зоны «материк–океан» преобладают ветры северных и южных направлений. В зимний период исследуемая территория находится под влиянием зимних муссонов с преобладающими (более 90%) сильными северными ветрами. Вместе с северными воздушными массами в атмосферу переходной зоны «материк–океан» поступает аэрозоль от континентальных источников. В летний период направление ветров меняется, при этом повторяемость южных ветров возрастает до 82%. Южные воздушные массы приносят с собой аэрозоль от морских источников. В весеннее и осеннее время происходит перестройка ветрового режима, в связи с чем повторяемость северных и южных ветров выравнивается и становится равной ~ 41 – 42% . Вместе с этим до 18% возрастает вероятность регистрации ветров других направлений.

Слабые (в пределах ошибки измерений) межгодовые вариации среднемесячных метеорологических параметров атмосферы приземного слоя дают основание предположить, что в отсутствие других факторов, влияющих на сезонный ход характеристик аэрозольных частиц, их межгодовая вариация также будет отсутствовать.

Сезонные вариации микрофизических характеристик

Результаты анализа сезонного хода микрофизических характеристик аэрозолей приземного слоя атмосферы M_a , M_{BC} , N_f , N_c , N_a и эффективной массы одной частицы $m_{a,0}$, полученных на лидарной станции ИАПУ ДВО РАН, представлены на рис. 2, на котором полыми кружками нанесены исходные данные после фильтрации выбросов, а сплошными – результаты применения сглаживающего алгоритма фильтрации № 3.

Как видно из графика временной зависимости счетной концентрации аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы (рис. 2, а), ее вариации имеют ярко выраженный сезонный ход. Повышение значений счетной концентрации аэрозольных частиц регистрируется в зимнее время, при этом максимум достигается в период с конца января по начало февраля. Значение N_a в это время находится в интер-

вале от 100 до 120 см^{-3} . Минимальное содержание аэрозольных частиц в атмосфере приходится на летнее время, с июня по август, и принимает значение в диапазоне от (5 ± 5) в июне 2011 г. до (44 ± 20) см^{-3} в июле 2011 г. В некоторых случаях значения концентрации частиц, не превышающие (10 ± 5) см^{-3} , регистрируются вплоть до первых чисел октября (2010 г.). Проведенный анализ показал наличие временных вариаций с периодом 365 сут, а проведенная аппроксимация экспериментальных данных конечным рядом Фурье по методу наименьших квадратов (6 членов ряда, $R^2 = 0,91$) показала, что основной вклад в вариации концентрации аэрозольных частиц вносит гармоника с периодом $T_0 = (310 \pm 2)$ сут. Такое несоответствие говорит о том, что полуширины летнего минимума и зимнего максимумов отличаются. Наибольшая концентрация субмикронной фракции атмосферного аэрозоля регистрировалась зимой 2010/11 г., в последующие годы ее пиковые значения имели отрицательный тренд.

Анализ вариации счетной концентрации субмикронной и грубодисперсной фракций аэрозольных частиц (рис. 2, б, в) показал схожий с N_a временной ход. Ввиду того что основное количество аэрозольных частиц сосредоточено в субмикронном диапазоне, сезонная динамика N_f (рис. 2, б) совпадает с N_a . Здесь также присутствует годовой ход с периодом 365 сут. Диапазон значений находился в тех же пределах. Максимальное значение регистрировалось зимой 2010/11 г. Что же касается концентрации грубодисперсной фракции N_c (рис. 2, в), то ее временной ход схож с N_f . На нем отчетливо выделяется годовой ход с такими же значениями периода. Диапазон значений счетной концентрации крупнодисперсной фракции частиц меньше и составлял от $(0,5 \pm 0,5)$ до $(3,0 \pm 1,0)$ см^{-3} , а наиболее высокие концентрации наблюдались зимой 2011/12 г. Значения N_c , не превышающие $(0,5 \pm 0,5)$ см^{-3} , как и в случае с N_f , приходились на летний период.

На временном ходе M_{BC} (рис. 2, г) отчетливо прослеживаются зимние и летние экстремумы. Диапазон значений массовой концентрации сажи варьируется от $(0,5 \pm 0,5)$ (начало лета) до $(3,0 \pm 2,0)$ $\text{мкг}/\text{м}^3$ (январь–февраль). Отличительная особенность сезонных вариаций сажи в атмосфере исследуемого региона – сохранение формы изменений. Принимая минимальные значения $(0,5 \pm 0,5)$ $\text{мкг}/\text{м}^3$ в конце мая – начале июня, M_{BC} постепенно увеличивается и в начале июля достигает значений $(1,0 \pm 0,7)$ $\text{мкг}/\text{м}^3$, которые сохраняются вплоть до начала октября. В это время концентрация сажи снова начинает расти и к концу ноября выходит на «плато» со значениями $(1,7 \pm 1,0)$ $\text{мкг}/\text{м}^3$.

С начала декабря и до середины января рост массовой концентрации сажи продолжается. Достигнув в январе своих максимальных значений $(3,0 \pm 2,0)$ $\text{мкг}/\text{м}^3$, M_{BC} приобретает отрицательный тренд, который сохраняется до марта, где она принимает значения, достигнутые в конце ноября и сохраняющиеся вплоть до апреля, где M_{BC} вновь приобретает отрицательный тренд, возвращаясь к значениям $(0,5 \pm 0,5)$ $\text{мкг}/\text{м}^3$.

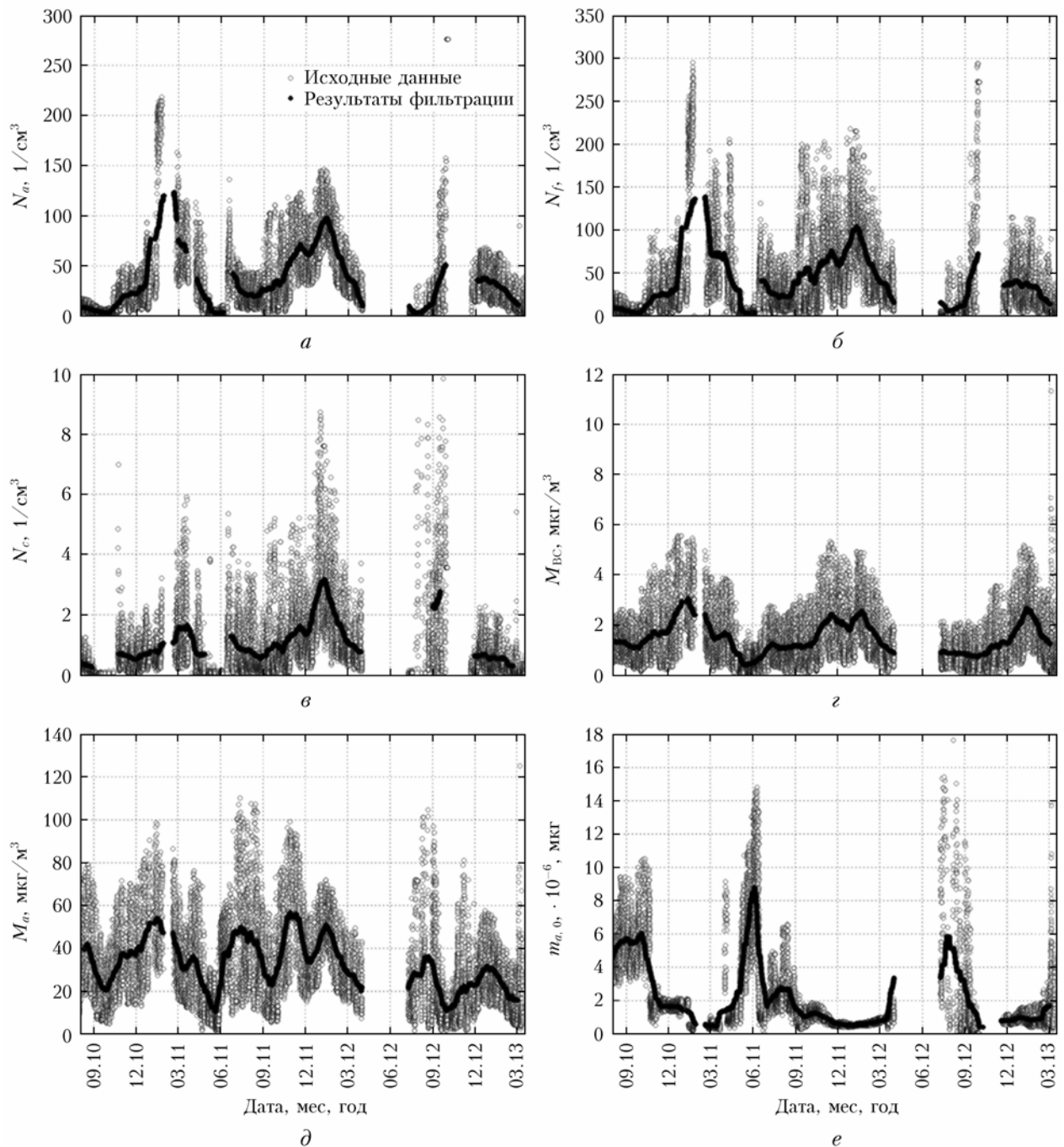


Рис. 2. Сезонный ход микрофизических параметров аэрозоля приземного слоя атмосферы за период с 08.2010 по 03.2012 г. включительно: *a* – счетная концентрация частиц; *б* – счетная концентрация субмикронных частиц; *в* – счетная концентрация крупнодисперсной фракции аэрозоля; *г* – массовая концентрация сажи; *д* – массовая концентрация субмикронного аэрозоля; *е* – эффективная масса одной частицы аэрозоля

Проведенный анализ показал наличие годового периода вариаций M_{bc} . Аппроксимация по имеющимся экспериментальным данным конечным рядом Фурье по методу наименьших квадратов (6 членов ряда, $R^2 = 0,86$) позволила выделить гармонику с максимальным вкладом, имеющую период $T_0 = (312 \pm 2)$ сут, что также можно связать с различной полушириной летнего минимума и зимнего максимума.

На графике сезонного хода массовой концентрации субмикронного аэрозоля M_a (рис. 2, *д*): во-первых, присутствуют как зимний, так и летний максимумы; во-вторых, сезонный ход не так ярко выражен, как для параметров N_a , N_c , N_f и M_{bc} . Глобальные минимумы достигаются в мае и находятся в диапазоне значений $(10,0 \pm 7,0)$ $\mu\text{г}/\text{м}^3$. Что касается глобальных максимумов, то определить их точное положение затруднительно, так как на временном ходе M_a

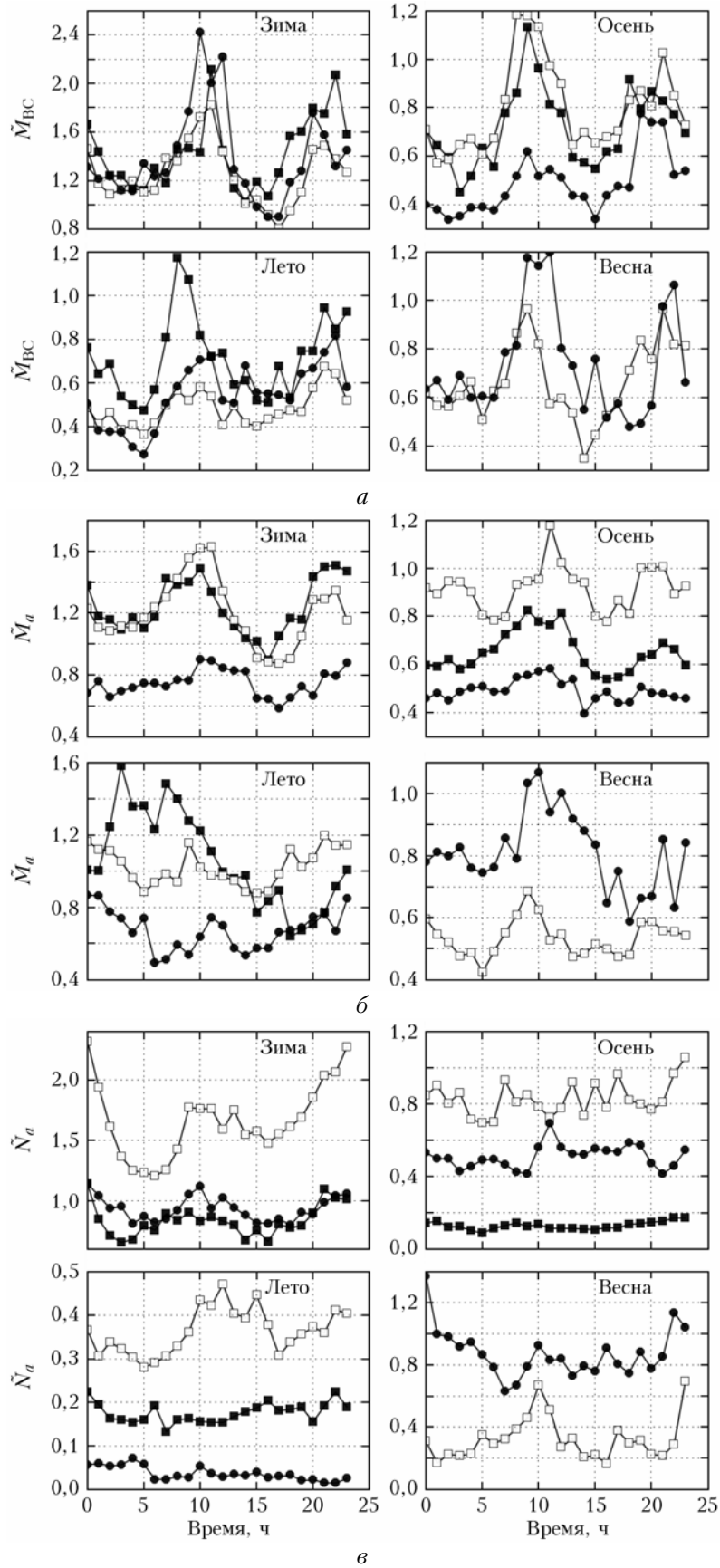


Рис. 3. Суточная динамика среднемесячных характеристик атмосферного аэрозоля: *a* – сажи; *б* – массовой концентрации субмикронной фракции аэрозоля; *в* – счетной концентрации частиц. Данные: ■ – за 2010, □ – 2011, ● – 2012 гг.

существует ряд локальных экстремумов, принимающих одинаковые значения ($60,0 \pm 30,0$) $\text{мкг}/\text{м}^3$, но меняющих свое положение из года в год.

Анализ временного хода эффективной массы частицы $m_{a,0}$ (рис. 2, *e*) показал, что наиболее тяжелые частицы находятся в атмосфере теплого периода, когда средние значения относительной влажности воздуха больше 70% [14] (см. рис. 1, *a*) и преобладают южные ветры. Это может быть связано с процессами конденсационного роста частиц при попадании влажного морского воздуха в атмосферу исследуемого региона. Высокая температура воздуха и развитая конвекция пограничного слоя атмосферы расширяют границы размеров частиц, которые могут находиться в атмосфере.

Суточные вариации микрофизических характеристик

На рис. 3 приведены графики нормированного среднесезонного суточного хода характеристик (N_a , M_a , M_{BC}), полученных на лидарной станции ИАПУ ДВО РАН, для различных сезонов периода 2010–2012 гг.

Наиболее четко суточный ход прослеживается для массовой концентрации сажи M_{BC} (рис. 3, *a*), который в меньшей степени подвержен межгодовым

вариациям, по сравнению с другими характеристиками аэрозоля приземного слоя атмосферы. Выделяются два максимума: первый из них соответствует 10 ч местного времени зимой и 8–9 ч летом, второй приходится на 21 ч местного времени (в летний период ночной максимум смещается в сторону полуночи). Помимо максимумов на суточном ходе можно выделить два минимума в 4–5 и 15–16 ч. В зависимости от сезона меняется и расстояние между утренним и вечерним максимумами, при этом минимальные значения ~ 10 ч регистрировались в зимние время, а максимальные ~ 13 ч – в летнее. Помимо расстояния между максимумами, размах суточных колебаний также испытывают вариации. Для нашего региона он максимален для зимнего периода ($\sim 1,6$) и минимален для лета ($\sim 0,3$). Весной и осенью размах суточных вариаций составляет $\sim 0,5$.

На графиках суточных вариаций нормированной массовой концентрации субмикронного аэрозоля (рис. 3, *б*) отчетливо выделяется утренний максимум, для которого характерны сезонные вариации. Так, летом он соответствует 8–9 ч местного времени, зимой 10 ч, а осенью – 11. Положение утреннего максимума весной соответствует 10 ч. В отличие от суточных вариаций сажи для M_a вечерний максимум отчетливо выделяется только зимой. Суточные вариации имеют наибольший размах в зимний период, достигая значений $\sim 0,6$, а расстояние между пиками

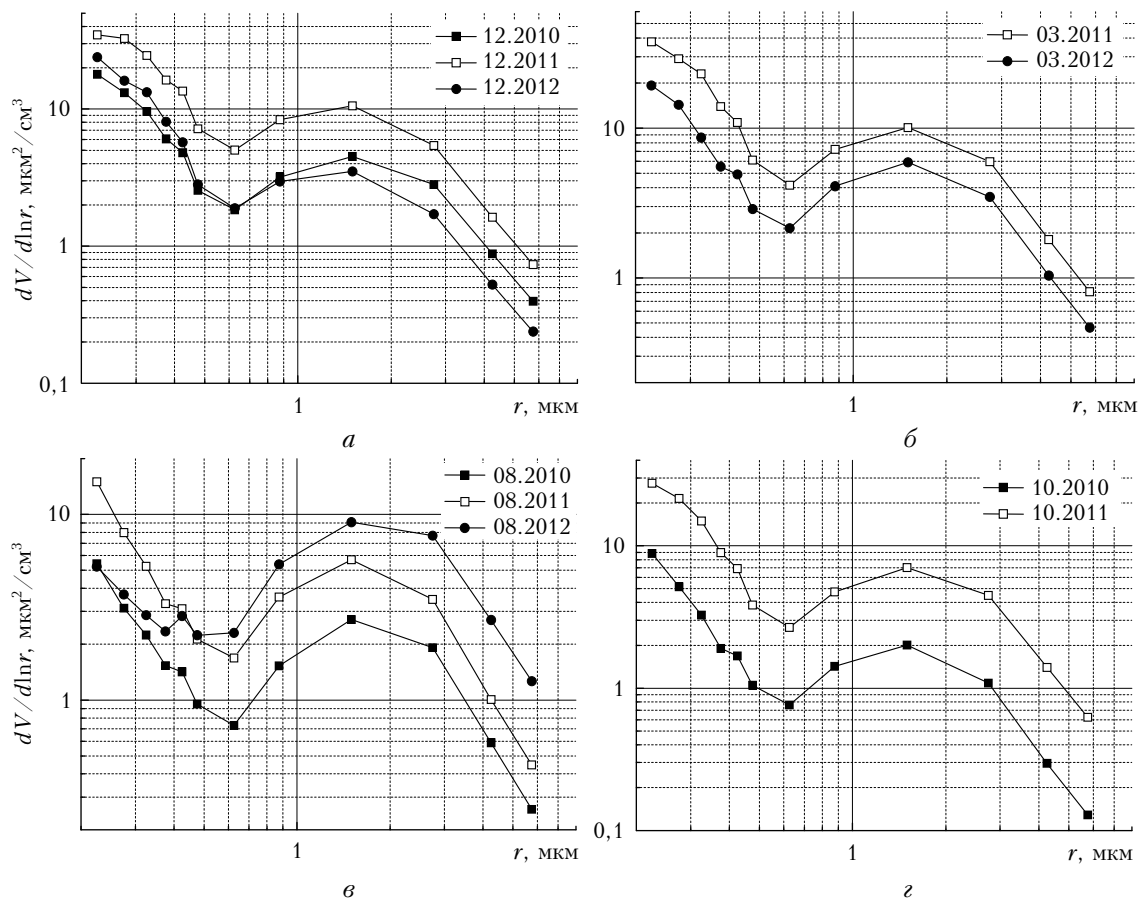


Рис. 4. Средние функции распределения объемов частиц по размерам для разных сезонов

равно 10 ч. В остальные сезоны вечерний максимум не определяется.

Анализ суточных вариаций нормированной счетной концентрации аэрозольных частиц (рис. 3, *в*) показал, что периодичность наблюдается только в зимний период. Отчетливо выделяются утренний (10 ч) и ночной (00 ч) максимумы и 5- и 15-часовые минимумы. Максимумы и минимумы расположены в точках, удаленных друг от друга на $\Delta t = 10$ ч. Размах вариаций в среднем составляет 0,66, при этом зимой 2011 г. он равен $\sim 1,0$. Для остальных сезонов суточные вариации не выражены, исключения составляют лето и весна 2011 г., когда на графиках проявлялся утренний максимум (размах вариаций $\sim 0,2$), и весна 2012 г. — проявлялся ночной максимум (размах вариаций $\sim 0,8$).

Из графиков распределения объемов частиц по размерам (рис. 4) видно, что оно имеет сложную, как минимум двумодальную структуру. Модальный радиус частиц субмикронной фракции в зависимости от сезона может принимать значения от 0,275 (в летний период) до 0,375 мкм (в зимний период). Что касается грубодисперсной моды, то она также испытывает сезонные вариации от 1,05 мкм в холодное время года до 2,5 мкм в теплое. Весной и осенью формы распределений идентичны, в то время как зимой регистрируется увеличение вклада субмикронной фракции частиц, а летом возрастает роль крупнодисперсной фракции.

Заключение

Резюмируя вышесказанное, стоит отметить, что аэрозоль переходной зоны «материк—океан» обладает сильной суточной и сезонной изменчивостью. Для большинства микрофизических характеристик (M_a , M_{BC} , N_f , N_c , N_a) свойственны увеличение значений в зимнее время и уменьшение в летний период, что, в основном, связано со сменой ветрового режима и доминирующего типа аэрозольных частиц. В зимнее время в регионе господствует сибирский антициклон, поставляющий аэрозоль, свойственный для континентальной части. Он характеризуется меньшими значениями эффективного радиуса частиц, но их большими концентрациями, что видно из рис. 2, *а–е*. Летом, когда в регионе преобладает морской аэрозоль, наблюдается уменьшение значений параметров (M_a , M_{BC} , N_f , N_c , N_a). Это связано с тем, что в морских воздушных массах содержится меньшее количество аэрозольных частиц, но с большим размером. Поскольку в летний период в исследуемом регионе преобладает морской аэрозоль, при достижении критических значений влажности (более 70%) начинается его конденсационный рост, что проявляется на графиках массы $m_{a,0}$ (см. рис. 2, *е*).

Наличие двух характерных максимумов на суточном ходе микрофизических характеристик аэрозольных частиц может быть вызвано следующими причинами: 1) воздействием локальных источников аэрозоля; 2) влиянием суточной вариации высоты пограничного слоя атмосферы (ППС); 3) бризовой

циркуляцией в летнее время. В этом случае утренний 8–9-часовой и вечерний 9-часовой максимумы могут быть, с одной стороны, обусловлены сжиганием угля и дров в частном секторе и часом пик на трассе, а с другой — переходными процессами в атмосфере, связанными с увеличением и уменьшением высоты ППС. Третий возможный механизм возникновения утреннего и вечернего максимумов на суточном ходе параметров аэрозольных частиц — это бризовая циркуляция, наиболее ярко проявляющаяся в утреннее и вечернее время суток. В летний период из трех факторов остаются только второй и третий.

Сравнение результатов приведенных выше исследований с данными о вариациях микрофизических параметров атмосферных аэрозолей для других регионов (на примере Томска) [9, 15–20] показывает, что вариации M_{BC} имеют схожую форму. На графиках присутствуют утренний и вечерний максимумы, а также ночной и дневной минимумы и их положение совпадает. Однако в отличие от Томска, размах суточных вариаций M_{BC} в переходной зоне «материк—океан» больше и максимален в зимний период. Суточный ход массовой концентрации субмикронного аэрозоля сильнее выражен в Томске с ночным (00 ч) максимумом, дневным (~ 12 –15 ч) минимумом и проявляющимся в летнее и весеннее время локальным 8-часовым максимумом. Для суточного хода M_a во Владивостоке характерно наличие выраженного глобального 10-часового максимума и 15-часового минимума. Из этого можно предположить, что процессы, влияющие на суточную изменчивость массовой концентрации сажи во Владивостоке и Томске, имеют одну и ту же природу. Что касается массовой концентрации субмикронного аэрозоля, то из-за различия в ее суточном ходе можно сделать предположение о существовании различных процессов, влияющих на ее вариации.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 12-05-31223_мол_а, партнерских проектов СО РАН № 25, 12-II-CY-07-008 ДВО РАН и VAST.HTQT.NGA.13/2012-2013.

1. Сакерин С.М., Павлов А.Н., Букин О.А., Кабанов Д.М., Корниенко Г.И., Польшин В.В., Столярчук С.Ю., Турчинович Ю.С., Шмирко К.А., Майор А.Ю. Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне «материк—океан» (Приморье и Японское море). Часть 1. Вариации аэрозольной оптической толщи атмосферы и вертикальные профили // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 8. С. 691–699.
2. Афонин А.В., Энгель М.В., Майор А.Ю., Павлов А.Н., Столярчук С.Ю., Шмирко К.А., Букин О.А. Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне «материк—океан» (Приморье и Японское море). Часть 2. Анализ пространственной и временной изменчивости характеристик аэрозоля по спутниковым данным и лидарным измерениям // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 9. С. 811–819.
3. Mishchenko M., Geogdzhayev I., Cairns B., Rossow W., Lacis A. Aerosol retrievals over the ocean by use of channels 1 and 2 AVHRR data: Sensitivity analysis and preliminary results // Appl. Opt. 1999. V. 38. P. 7325–7341.

4. Xu M., Chang C.-P., Fu C., Qi Y., Robock A., Robinson D., Zhang H. Steady decline of east Asian monsoon winds, 1969–2000: Evidence from direct ground measurements of wind speed // *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111, D24111, doi: 10.1029/2006JD007337.
5. Luo Y.F., Lu D.R., Zhou X.J., Li W.L., He Q. Characteristics of the spatial distribution and yearly variation of aerosol optical depth over China in last 30 years // *J. Geophys. Res.* D. 2001. V. 106, N 13. P. 14,501–14,513.
6. Wild M., Gilgen H., Roesch A. From dimming to brightening: Decadal changes in solar radiation at Earth's surface // *Science*. 2005. V. 308. P. 847–850.
7. Lau K., Ramanathan V., Wu G., Li Z., Tsay S., Hsu C., Sikka R., Holben B., Lu D., Tartari G., Chin M., Koude-lova R., Chen H., Ma Y., Huang I. The Joint Aerosol-Monsoon Experiment – A new challenge for monsoon climate research // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2008. V. 89, N 3. P. 369–383.
8. Lau K., Kim K. Observational relationships between aerosol and Asian monsoon rainfall, and circulation // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33, L21810, doi: 10.1029/2006GL027546.
9. Козлов В.С., Панченко М.В., Яушева Е.П. Субмикронный аэрозоль и сажа приземного слоя в суточном ходе // *Оптика атмосфер. и океана*. 2010. Т. 23, № 7. С. 561–569.
10. 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.
11. Горчаков Г.И., Емиленко А.С., Свириденков М.А. Однопараметрическая модель приземного аэрозоля // *Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана*. 1981. Т. 17, № 1. С. 39–49.
12. 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.
13. Сервер «Погода России» [Электронный ресурс]. URL: http://meteo.infospace.ru/win/wcarch/html/r_day_stn.sht?num=2331
14. Розенберг Г.В. Оптические исследования атмосферного аэрозоля // *Успехи физ. наук*. 1968. Т. 95, вып. 1. С. 159–208.
15. Pol'kin V.V. Temporal variability of microstructural parameters of near-ground aerosol. Part 1. Annual and seasonal variability // *Proc. SPIE*. 2004. V. 5743. P. 359–364.
16. Pol'kin V.V. Temporal variability of microstructural parameters of near-ground aerosol. Part 2. Annual and seasonal variability // *Proc. SPIE*. 2004. V. 5743. P. 365–371.
17. Panchenko M.V., Pol'kin V.V. Annual behavior of number densities of fine and coarse fractions of atmospheric aerosol // IX Joint Int. Sympos. «Atmospheric and ocean optics. Atmospheric physics». July 2–5. Tomsk, 2002. P. 98.
18. Козлов В.С., Панченко М.В., Яушева Е.П. Временная изменчивость содержания субмикронного аэрозоля и сажи в приземном слое атмосферы Западной Сибири // *Оптика атмосфер. и океана*. 2007. Т. 20, № 12. С. 1082–1085.
19. Антохин П.Н., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н. Прогноз изменения концентрации озона и аэрозоля на основании предсказанного в 24-м цикле уровня солнечной активности // *Оптика атмосфер. и океана*. 2012. Т. 25, № 9. С. 778–783.
20. Панченко М.В., Тертугова С.А., Докукина Т.А., Польшкин В.В., Яушева Е.П. Многолетняя изменчивость конденсационной активности аэрозоля в г. Томске // *Оптика атмосфер. и океана*. 2012. Т. 25, № 4. С. 314–318.

K.A. Shmirko, A.N. Pavlov, S.Yu. Stolyarchuk, O.A. Bukin, A.A. Bobrikov, V.V. Pol'kin, Nguen Suan An'.
Variations of aerosol microphysical parameters in the ground atmospheric layer of the transitional zone “land–ocean”.

This article provides the results of investigations of aerosol microphysical properties variations in the lower part of the atmosphere in the Primorye coastal area. The analyzed data were obtained during the period from 01.08.2010 till 31.12.2012 at the lidar station of the Institute of Automation and Control Processes FEB RAS. Typical values of mass concentration of submicron aerosols, black carbon and particle size distribution functions were obtained for different seasons. During the winter with strong north winds and low relative humidity values (50 ± 20)% a dry continental aerosol dominates at the region of investigation and numerical aerosol concentration (N_a) has higher values between 100 and 120 cm^{-3} . During the summertime when south winds dominate and relative humidity reaches values of 98%, N_a has low values of (5 ± 5) in June, 2011 and (44 ± 20) cm^{-3} in July, 2011. Diurnal variations of mass and numerical concentrations of atmospheric aerosols and black carbon are well-defined in winter. Modal radius of fine aerosol particles has values of 0.275 μm in summertime and 0.375 μm in wintertime and for the coarse aerosol particles modal radius reaches 1.05 and 2.5 μm in winter and summertime, consequently. The more stable seasonal and diurnal variations were obtained from black carbon mass concentration measurements. Its values vary in the range from (0.5 ± 0.5) at the early summer to (3.0 ± 2.0) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in winter. It was shown that diurnal variations of M_{BC} in Tomsk and Primorye coastal area have the same shape, but in the last case the amplitude of variations is bigger.