

**В.И. Букатый, А.А. Исаков, Н.В. Кисляк, И.А. Суторихин, Р.П. Черненко**

## **ДИНАМИКА МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ г. БАРНАУЛА**

Приведены результаты экспериментов по изучению суточной, недельной и месячной динамик микрофизических характеристик приземного аэрозоля г. Барнаула. Обсуждаются закономерности их поведения в зависимости от метеорологических условий.

Проблема загрязнения воздуха становится все более актуальной в связи с усиливающимся влиянием деятельности человека на окружающую среду. Основными источниками загрязнения являются бытовые, производственные и природные процессы, поставляющие в атмосферу вредные вещества как в виде газовых смесей, так и в виде аэрозолей.

Наряду с изучением химического состава вещества аэрозолей важнейшей задачей является определение микрофизических параметров аэрозольных частиц. От дисперсности аэрозоля зависят многие его свойства, например эффективность распространения оптического излучения в атмосфере, ослабление процессов фотосинтеза в листьях растений и т.п. Анализ атмосферных загрязнений в городских условиях посвящен ряд работ, например [1–4], однако результаты исследований аэрозольной компоненты в них представлены недостаточно и имеют разрозненный характер.

Данная работа посвящена задаче осуществления комплексного подхода к изучению аэрозольной компоненты приземного слоя атмосферы в условиях города с развитыми промышленностью и транспортной сетью на примере краевого центра г. Барнаула.

В плане решения этой задачи представляют интерес такие характеристики аэрозоля, как динамика счетной и массовой концентраций в зависимости от метеорологических условий, характер распределения частиц по размерам, их форма и фазовый состав.

Для определения этих параметров использовался комплекс аппаратуры, включающий в себя: 1) серийный прибор ПКЗВ-906, 2) импакторную установку, 3) аспирационную установку, 4) комплекс автоматизации обработки измерений. Отбор проб и определение счетной концентрации среднedisперсного аэрозоля производились при помощи прибора ПКЗВ-906. Данные регистрировались по семи каналам с граничными размерами 0,3–0,4; 0,4–0,5; 0,5–1; 1–2; 2–5; 5–10; 10–100 мкм. Усреднение проводилось по измерениям, полученным в течение 15–20 мин. В связи с тем что, начиная с размера частиц 1 мкм, прибор имеет довольно грубую разбивку, крупнодисперсный аэрозоль изучался с использованием импакторной и аспирационной установок в зависимости от определяемого аэрозольного параметра. Данные счетной концентрации могут быть получены путем микрофотографирования стеклянных подложек импактора либо предварительно заэкспонированных и осветленных парами ацетона фильтров типа АФА ВП-20. Усреднение результатов измерений происходило по нескольким фотографиям полученного препарата аэрозольных частиц в различных областях подложки или фильтра.

Изображения частиц с микрофотографий заносятся в компьютер с помощью сканера и с использованием специального пакета программ подвергались обработке на комплексе «Robotron» с получением протокола о параметрах частиц. Далее полученный файл обрабатывался с помощью «Windows» – приложения электронных таблиц Excel на компьютере IBM PC/AT-386.

Применение автоматизации обработки данных, помимо большой экономии времени, позволяет избежать субъективности при оценке данных счетной концентрации, а также расширяет возможности повышения информативности обработки измерений в плане оценки таких микрофизических параметров, как площади изображений частиц, отклонение их формы от сферической и т.д. Обе эти методики забора проб привели к взаимоподтверждающим результатам. Однако следует иметь в виду, что аспирационная установка дает погрешность в случае

наличия жидкой оболочки вокруг частицы (на фильтре она не может быть зафиксирована), в свою очередь, импакторная установка несколько искажает результат за счет уноса части мелких частиц с потоком воздуха.

Такие характеристики, как форма и фазовый состав аэрозолей, изучались с использованием микроизображений частиц, осажженных на импакторные подложки, хотя если речь идет о форме ядер конденсации, то могут быть использованы фотографии осветленных фильтров. Массовая концентрация определялась путем взвешивания фильтров до и после экспонирования.

С целью исследования динамики некоторых свойств аэрозоля были проведены экспериментальные заборы проб одновременно средне- и крупнодисперсных аэрозольных фракций в опорном пункте, расположенном с наветренной стороны от крупных источников антропогенного загрязнения (здание физкорпуса Алтайского госуниверситета), в различные периоды времени.

На рис. 1 представлены данные о суточной динамике счетной  $N_c$  и массовой  $N_m$  концентраций частиц аэрозоля, а также величин  $\delta_{50}$  и  $\sigma$ , являющихся параметрами нормального логарифмического распределения, характеризующими медианный диаметр и степень полидисперсности материала [5].

Данное распределение выбрано для аппроксимации экспериментальных значений линейных размеров частиц в результате анализа многочисленных эмпирических кривых и некоторых аналитических функций с использованием различных вероятностных сеток. Измерения производились с 14<sup>00</sup> ч 19.04.95 до 14<sup>00</sup> ч 20.04.95. Изменение температуры в данный период составило +1...+9°C. Величины массовой и счетной концентраций в течение суток варьировали в интервалах 0,37–1,76 мг/м<sup>3</sup> и  $3,37 \cdot 10^3$ – $8,21 \cdot 10^3$  дм<sup>-3</sup> соответственно. Медианный диаметр изменялся от 0,49 до 0,66 мкм.

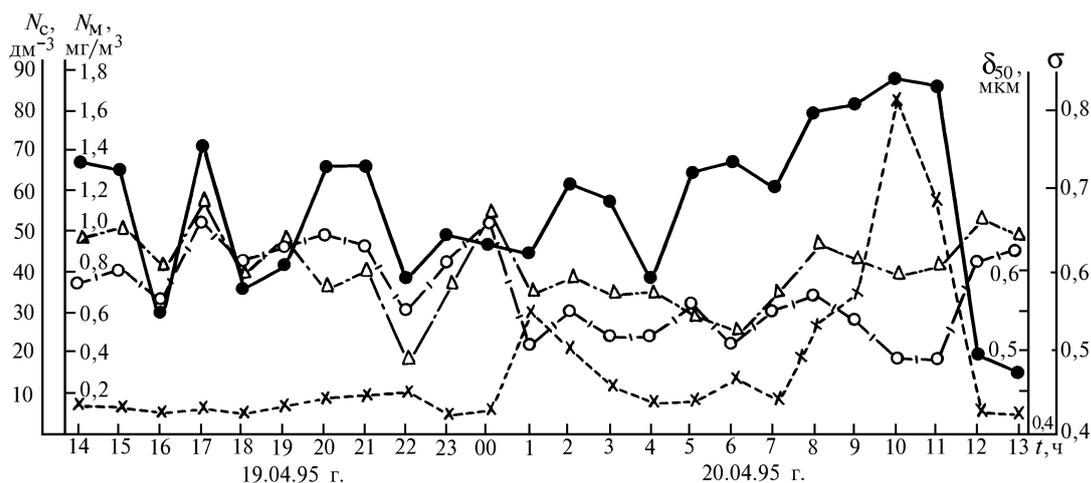


Рис. 1. Суточная динамика микрофизических характеристик городского аэрозоля:  $\times$  –  $N_c(t)$  счетная концентрация;  $\bullet$  –  $N_m(t)$  массовая концентрация;  $\Delta$  –  $\sigma(t)$  степень полидисперсности;  $\circ$  – медианный диаметр

Из рис. 1 видно, что в первой части эксперимента (с 14<sup>00</sup> до 24<sup>00</sup> ч 19.04.95) значение  $N_c$  оставалось практически стабильным [ $(4-11) \cdot 10^3$  дм<sup>-3</sup>], в небольших пределах колебались значения  $N_m = 0,7 \div 1,4$  мг/м<sup>3</sup> и  $\delta_{50} \approx 0,3 \div 0,5$  мкм. С 0<sup>00</sup> до 3<sup>00</sup> ч 20.04.95 отмечено наличие пика счетной концентрации  $N_c \approx 3,44 \cdot 10^4$  дм<sup>-3</sup> при  $\delta_{50} \approx 0,5 \div 0,55$  мкм, причем степень полидисперсности аэрозоля также снизилась относительно усредненного значения за период с 14<sup>00</sup> по 24<sup>00</sup> ч 19.04.95. Такое повышение содержания мелких частиц было вызвано ночным выбросом загрязнителей городской ТЭЦ-3. В период с 7<sup>00</sup> до 11<sup>00</sup> ч прослеживался стабильный рост  $N_c(t)$  и  $N_m(t)$  в связи с возрастанием интенсивности движения транспорта, функционированием отопительных печей в частном секторе. Максимальные значения эти величины приняли в 10<sup>00</sup> ч, и  $\delta_{50}$  снизилось до  $\approx 0,49$  мкм. С 12<sup>00</sup> до 13<sup>00</sup> ч метеосостояние изменилось, пошел дождь, и кривые  $N_c(t)$  и  $N_m(t)$  достигли своих минимальных значений при  $\delta_{50} \approx 0,61 \div 0,62$  мкм. Резкое уменьшение счетной концентрации частиц во время выпадения осадков было обнаружено нами ранее в экспериментах от 15.05.94 г. Результаты показали, что при продолжительности дождя порядка 50 мин с интенсивностью 10–14 мм объ-

емная концентрация частиц приземного аэрозоля в диапазоне 0,3–10 мкм изменилась с 36200 до 15100 частиц в  $1 \text{ дм}^3$  за счет процессов вымывания (рис. 2).

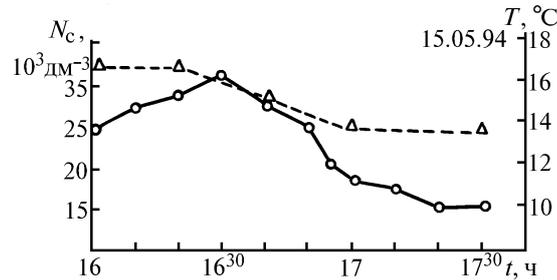


Рис. 2. Динамика счетной концентрации и температуры в период выпадения дождя:  $\circ$  –  $N_c(t)$ ;  $\Delta$  –  $T(t)$

Отбор аэрозоля осуществлялся в опорном пункте с борта передвижной лаборатории на высоте 2,1 м от поверхности земли. Канал пробоотборника был защищен от попадания капель. Интенсивность дождя определялась по юстированной методике с использованием водомерного ведра и мензурки. Интерес представляет тот факт, что в начальный период выпадения осадков в приземном слое происходят повышение концентрации и увеличение  $\delta_{50}$  аэрозоля. Такое изменение может быть объяснено появлением наряду с твердыми частицами жидких в условиях повышенной влажности.

В то же время при изучении формы частиц было замечено, что они при влажности  $\approx 100\%$  обводняются, обретая сферическую форму и укрупняясь в размерах. Далее с понижением температуры в результате развития процессов конденсации и коагуляции происходят дальнейшее увеличение размеров частиц и выпадение их под действием гравитационного осаждения и вымывания дождевыми каплями. При анализе недельной динамики основных характеристик аэрозольной компоненты воздуха также наблюдалась подобная зависимость  $N_c$  и  $\delta_{50}$  от наличия осадков. Минимальные значения величин  $N_c$ ,  $N_m$  приходятся на 18.04 и 20.04.95 г., когда наблюдалась повышенная влажность (19.04 замер проведен спустя 2–3 часа после дождя, 20.04 – во время дождя).

При анализе суточных данных о грубодисперсной фракции не удалось выявить универсальную аналитическую функцию распределения по размерам для всех заборов проб. Однако наблюдается согласованное поведение кривых  $\delta_{50}(t)$  средней и крупной фракций (т.е. при увеличении  $\delta_{50}$  среднедисперсной фракции отмечается увеличение  $\delta_{50}$  грубодисперсного аэрозоля). В то же время ход общей массовой концентрации мало зависит от счетной концентрации крупных частиц. Этот факт свидетельствует о том, что основной вклад по массе вносит именно среднедисперсный аэрозоль, изменение параметров которого в основном определяет динамику массовой концентрации. Так, например, при неизменной счетной концентрации наблюдалось увеличение  $N_m$  с ростом медианного диаметра  $\delta_{50}$ . С другой стороны, резкое увеличение счетной концентрации при небольшом уменьшении  $\delta_{50}$  слабо отражалось на значении массовой концентрации. Такой характер взаимосвязи величин  $N_m$ ,  $N_c$ ,  $\delta_{50}$  обусловлен тем, что  $N_m \sim N_c(\delta_{50})^3$  [5]. При этом рост значения  $N_c$  наблюдался с уменьшением медианного диаметра и степени полидисперсности аэрозоля. Однако данные закономерности видны в случае отсутствия особых метеорологических условий (сильный ветер, осадки).

На рис. 3 представлен фрагмент месячной динамики некоторых параметров городского аэрозоля. Время проведения экспериментальных исследований (с 21.10 до 5.11.95 г.) было выбрано с целью оценки изменения состояния приземного слоя атмосферы в связи с началом отопительного сезона. В данный период наблюдалось достаточно резкое понижение среднесуточной температуры и городские отопительные системы были выведены на полную мощность. Изменение величины счетной концентрации зарегистрировано в пределах от  $6,51 \cdot 10^3$  до  $9,85 \cdot 10^4 \text{ дм}^{-3}$ . Таким образом, значение  $N_c$  повысилось в среднем на порядок относительно подобных измерений, произведенных ранней осенью. Следует отметить, что свои минимальные значения ( $N_c(26.10) \approx 1,59 \cdot 10^4$ ,  $N_c(28.10) \approx 6,67 \cdot 10^3$ ,  $N_c(2.11) \approx 6,51 \cdot 10^3 \text{ дм}^{-3}$ ) кривая  $N_c(t)$  принимала в точках, соответствующих проведению экспериментальных замеров во время выпадения осадков в виде снега. Массовая концентрация  $N_m$  достигала значения  $\sim 3 \text{ мг/м}^3$ .

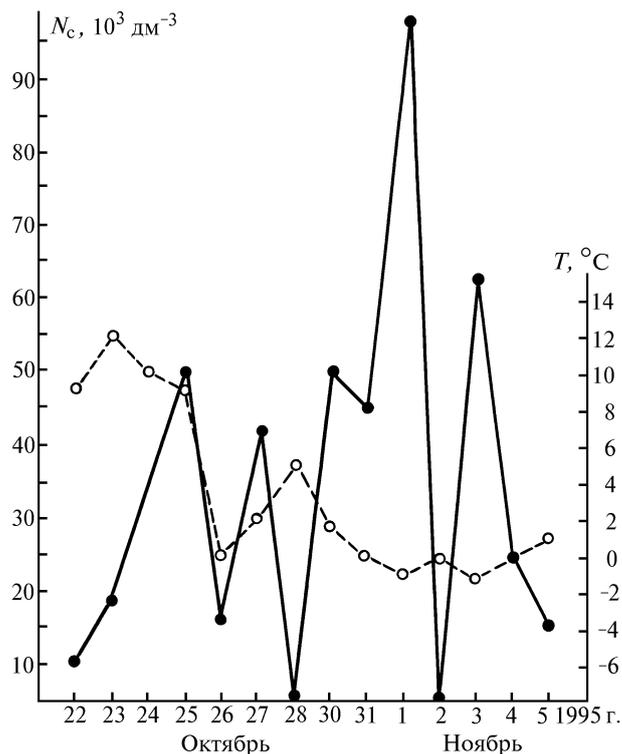


Рис. 3. Динамика счетной концентрации и температуры в период от 21.10 до 5.11.95 г. ● –  $N_c(t)$ ; ○ –  $T(t)$

1. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 252 с.
2. Исследование загрязнения атмосферы Алма-Аты / Под ред. У.М. Султангазина. 1, 2-й вып. Алма-Ата: Гылым, 1990. 316 с.
3. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 198 с.
4. Зуев В.Е., Креков Г.М. Оптические модели атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 256 с.
5. Коузов П.А. // Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Л.: Химия, 1987. 264 с.

Алтайский государственный университет  
Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

Поступила в редакцию  
26 января 1996 г.

V. I. Bukatyi, A. A. Isakov, N. V. Kislyak, I. A. Sutorikhin, R. P. Chernenko.  
**Dynamics of Microphysical Characteristics of Nearground Aerosol in Barnaul.**

The experimental results on diurnal, weekly, and monthly dynamics of microphysical characteristics of the nearground aerosol in Barnaul are presented. The influence of meteorological conditions on their behaviour is discussed.