

УДК 533.6.013

И.А. Суторихин, А.С. Самойлов

**Динамика приземного аэрозоля Барнаула**

Данная работа посвящена задаче осуществления комплексного подхода к изучению основных микрофизических параметров городского приземного аэрозоля на примере Барнаула. Целью проведенных исследований является мониторинг состояния городского аэрозоля, начиная с 1991 г. до настоящего времени, т.е. обобщение ранее разрозненных данных различных экспериментов, проведенных исследователями [1, 2, 3, 4] и сравнение их с результатами собственных изысканий. Несомненный интерес для решения этой задачи представляют такие характеристики аэрозоля, как динамика счетной и массовой концентрации в зависимости от времени суток и метеоусловий, а также закономерности распределения аэрозольных частиц по размерам. Исследования такого рода полезны для объективной оценки роли приземного аэрозоля как климатообразующего фактора в промышленном центре, а также имеют санитарно-гигиеническое значение.

При вдыхании загрязненного воздуха вредные вещества, содержащиеся в нем, задерживаются на всем протяжении дыхательного тракта, при этом между размерами частиц и глубиной их проникновения установлена следующая зависимость. Частицы диаметром 7–10 мкм оседают в верхних дыхательных путях на 70–90% и не проникают в глубокие отделы легких. Частицы меньшего диаметра (1–3 мкм) проникают в альвеолярные отделы легких, задерживаются в них на 30–35% и затем, растворяясь, поступают непосредственно в кровь. Более мелкие частицы с диаметром менее 0,1 мкм являются менее опасными, поскольку большая их часть выдыхается и не задерживается в легких.

Для оценки степени загрязнения воздуха аэрозольными частицами, и, соответственно, качества атмосферы и влияния на здоровье человека необходимо знать различные количественные характеристики аэрозоля, в том числе счетную и массовую концентрации, а также размер частиц. К наиболее опасной респираторной фракции относятся частицы размером 0,3–0,5 мкм [5]. Для проводимых исследований использовался комплекс аппаратуры, включающий в себя фильтрационную установ-

ку, фотометр фотоэлектрический для аэрозолей ФАН и прибор контроля запыленности воздуха ПКЗВ-906. Отбор проб для определения массовой концентрации среднедисперсного аэрозоля осуществлялся на фильтры типа АФА-ХА-20, взвешенные до и после экспонирования. Измерения счетной концентрации среднедисперсного аэрозоля проводились 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 20 мин. Средний радиус аэрозольных частиц, взвешенных в приземном атмосферном воздухе, определялся при помощи фотометра фотоэлектрического для аэрозолей ФАН. На рисунке 1 представлен суточный ход массовой концентрации частиц аэрозоля  $N_m$ .

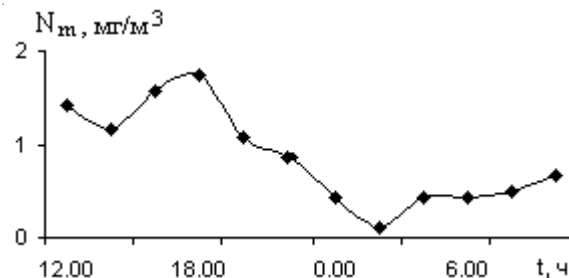


Рис. 1. Суточный ход массовой концентрации 7–8 мая 2003 г.

Измерения производились 7 мая 2003 г. с 12:00 по 24:00 и 8 мая 2003 г. с 0:00 по 10:00 на проспекте Красноармейском, 70. Этот район находится в деловом центре Барнаула, вблизи пересечения крупных транспортных артерий города – ул. Молодежной и пр. Красноармейского. Через каждый фильтр прокачивалось 600 л городского аэрозоля на высоте 10 м от поверхности земли. Величина массовой концентрации в течение суток варьировала в интервале 0,1–1,75 мг/м<sup>3</sup>, причем максимальное ее значение получено в 18:00, а минимальное – в 2:00. Такое поведение массовой концентрации обусловлено, по-видимому, следующими факторами: в конце рабочего дня (17:00–18:00)

близлежащие улицы (проспект Красноармейский, проспект Социалистический, ул. Молодежная), являющиеся одними из крупнейших транспортных магистралей города, переполнены автотранспортом, выхлопные газы которого оказывают существенное влияние на состояние приземного аэрозоля в окрестности данного опорного пункта. Этим фактом вкупе с хорошо прогретым к 18:00 атмосферным воздухом (о зависимости массовой концентрации от температуры окружающего воздуха далее по тексту) и объясняется пик на рисунке 1. Исходя из этих соображений, понятен минимум, полученный в 2:00. В это время в деловом центре города практически нет автотранспорта, температура невысока, что позволяет значению массовой концентрации быть близким к фоновому уровню. Как видно из графика (рис. 1), к началу рабочего дня (7:00–9:00), с появлением на улицах автомобилей и повышением температуры, массовая концентрация снова повышается.

На основании полученных ранее результатов пробы аэрозоля для наблюдения за недельным ходом массовой концентрации, производились в 18:00 в период с 13 по 19 мая 2003 г. (рис. 2). Измерения проводились на такой же высоте, объем прокачанного через фильтр аэрозоля составлял 900 л.

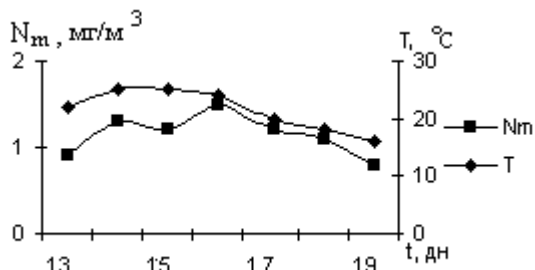


Рис. 2. Недельный ход массовой концентрации  $N_m$  и температуры окружающего воздуха  $T$  в мае 2003 г.

За данный промежуток времени массовая концентрация принимала значения от 0,8 до 1,5 мг/м³, температура окружающего воздуха изменялась в пределах от 18 до 25 °C. На рисунке 3 представлены данные о недельной динамике среднего радиуса аэрозольных частиц, полученные 2–8 июня 2003 г. при помощи фотометра фотоэлектрического для аэрозолей ФАН.

В результате этих измерений ход среднего радиуса составил 0,04 мкм – 1 мкм, температура изменялась от 23 °C до 30 °C. Полученные результаты говорят о существовании некоторой зависимости среднего радиуса частиц и массовой концентрации аэрозоля от температуры атмосферного воздуха, характер ко-

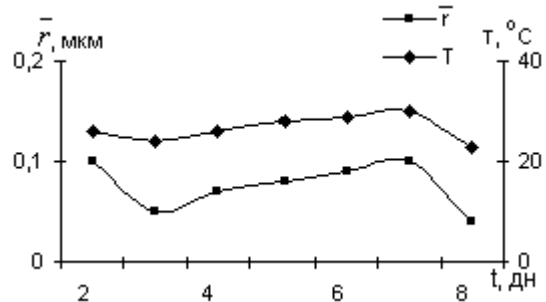


Рис. 3. Недельный ход среднего радиуса аэрозольных частиц и температуры окружающего воздуха в июне 2003 г.

торой подлежит дальнейшему исследованию. На данном этапе можно говорить о том, что более прогретый воздух обладает большей кинетической энергией, что позволяет его конвективным потокам увлекать более крупные частицы с подстилающей поверхности (почвы, асфальта). Основными критериями качества атмосферного воздуха являются предельно допустимые концентрации (ПДК) для населенных мест. В соответствии с ГОСТ 17.2.1.04–77 под ПДК понимается максимальная концентрация примеси в атмосфере, которая отнесена к определенному времени осреднения и при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного воздействия, включая отдаленные последствия и на среду в целом [6]. Из [6], для городов с численностью населения от 500 тыс. до 1 млн человек (население Барнаула около 700 тыс.), максимальная разовая ПДК для пыли – 2,96 мг/м³, среднегодовая – 0,24 мг/м³. Значения массовой концентрации, полученные в ходе проведенных экспериментов (0,1 мг/м³–1,75 мг/м³), не превышают максимальную разовую ПДК.

В период с 8 сентября по 8 октября 2003 г. был проведен цикл экспериментов по измерению счетной концентрации аэрозольных частиц, взвешенных в атмосферном воздухе, в ходе которых была проанализирована суточная, недельная и месячная динамика счетной концентрации.

Наблюдение за суточным ходом счетной концентрации частиц различных размеров было произведено 8–9 октября 2003 г. (рис. 4). Суточный ход полной счетной концентрации представлен на рисунке 5.

Полученные результаты интересно сравнить с результатами экспериментов 1991 и 1995 гг. по измерению концентрации частиц с помощью ПКЗВ-906. Измерения дисперсного состава городского аэрозоля проводились как в тече-

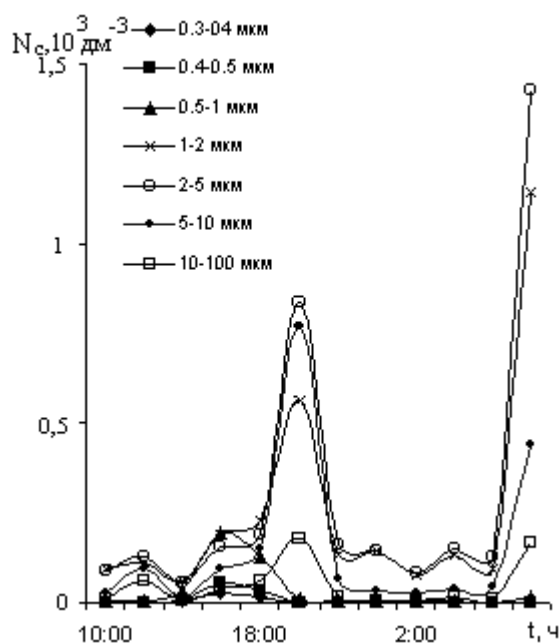


Рис. 4. Суточный ход счетной концентрации

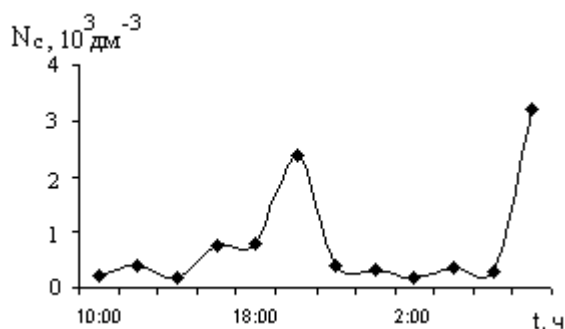


Рис. 5. Суточный ход полной концентрации аэрозоля 8–9 окт. 2003 г.

ние полных суток (через каждый час), так и разовые.

Обратимся к результатам некоторых измерений. 17–18 апреля 1991 г. был проведен суточный эксперимент на улице Гоголя, 85. Этот район, наиболее низкий в городе, сильно подвержен загрязнению от многочисленных предприятий, котельных, автотранспорта, печного отопления домов и т.д. Среднесуточная полная счетная концентрация частиц тогда составила  $2,5 \cdot 10^5 \text{ дм}^{-3}$ , причем минимальное ее значение ( $2,4 \cdot 10^3 \text{ дм}^{-3}$ ) было получено в 11:20 17.04.91 при юго-восточном ветре, 1–2 м/с, температуре  $6^\circ \text{C}$ , влажности 90%, а максимальное ( $9,4 \cdot 10^5 \text{ дм}^{-3}$ ) – в 23:10 17.04.91 при юго-восточном ветре, 0–1 м/с, температуре  $5^\circ \text{C}$ , влажности 45%. Интересно, что к таким результатам привело понижение влажности вдвое, при практически не изменившихся остальных метеоусловиях.

Обратимся к результатам суточного эксперимента 4 октября 1997 г., проведенного исследователями [4] недалеко от предыдущего опорного пункта, на пересечении пр. Красноармейского и ул. Партизанской. За время проведения данного эксперимента значения полной счетной концентрации варьировали в диапазоне  $3,3 \cdot 10^2 \text{ дм}^{-3}$  –  $1,7 \cdot 10^5 \text{ дм}^{-3}$ , причем минимум зафиксирован в 16:00, а максимум – в 6:00. В течение этих суток температура изменялась от  $5$  до  $23^\circ \text{C}$ . Следует отметить, что данные исследования проводились в условиях повышенного загрязнения города дымовым аэрозолем. На рисунке 6 приведен график суточной динамики массовой и полной счетной концентрации, полученный по результатам измерений, проведенных в течение суток 19–20 апреля 1995 г. на проспекте Красноармейском, 70. Этот район расположен, как и предыдущий, в деловом центре города, но несколько выше. Он не менее подвержен загрязнению от предприятий, котельных, автотранспорта, печного отопления домов, а также характеризуется песчаной почвой и более интенсивным движением воздушных масс.

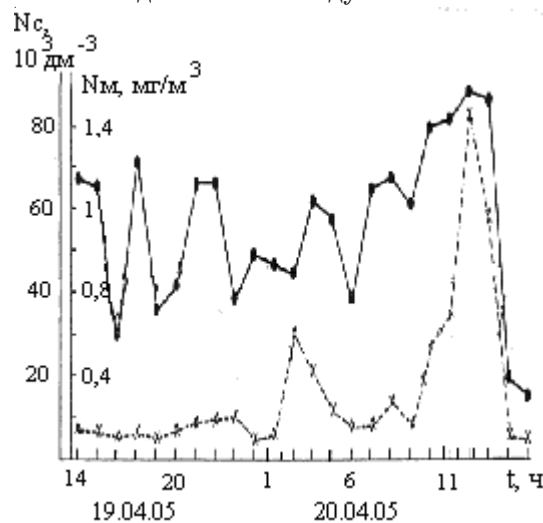


Рис. 6. Суточная динамика микрофизических характеристик аэрозоля:

- x –  $N_c(t)$  – счетная концентрация;
- –  $N_m(t)$  – массовая концентрация

Измерения производились с 14:00 ч 19.04.95 до 14:00 ч 20.04.95. Величины массовой и счетной концентраций в течение суток варьировали в интервалах  $0,37$  –  $1,76 \text{ мг/м}^3$  и  $3,37 \cdot 10^3$  –  $8,21 \cdot 10^4 \text{ дм}^{-3}$  соответственно, причем теперь минимум полной счетной концентрации зафиксирован в 23:00 19.04.95, а максимум – в 10:00 20.04.95. Изменение температуры в данный период составило от  $1$  до  $9^\circ \text{C}$  [1]. В 2003 г. в

этом же опорном пункте Барнаула величина массовой концентрации в течение суток 7–8 мая варьировала в интервале  $0,1 \text{ мг/м}^3 - 1,75 \text{ мг/м}^3$ , а наблюдение за ходом счетной концентрации в течение суток 8–9 октября выявило изменение счетной концентрации в пределах  $0,2 \cdot 10^3 \text{ дм}^{-3} - 3,2 \cdot 10^3 \text{ дм}^{-3}$ . Месячный ход счетной концентрации фиксировался тремя сериями измерений: утренней (9:00), дневной (15:00) и вечерней (20:00). Результаты представлены на рисунках 7, 8, 9.

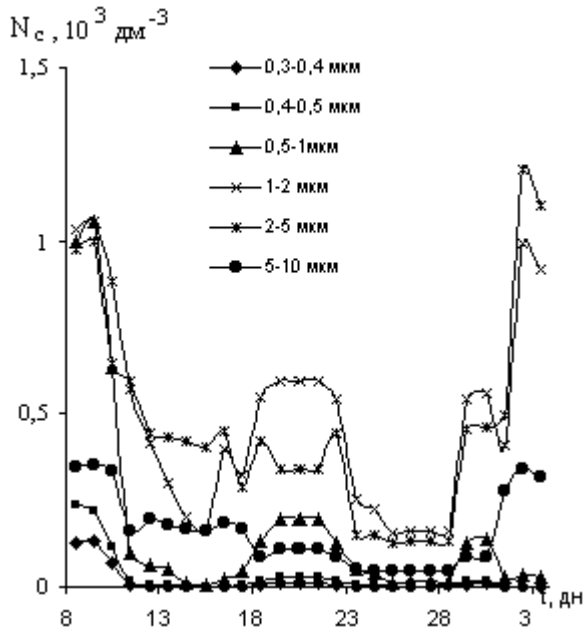


Рис. 7. Месячный ход счетной концентрации приземного аэрозоля 8 сен. – 8 окт. 2003 г. в 9:00

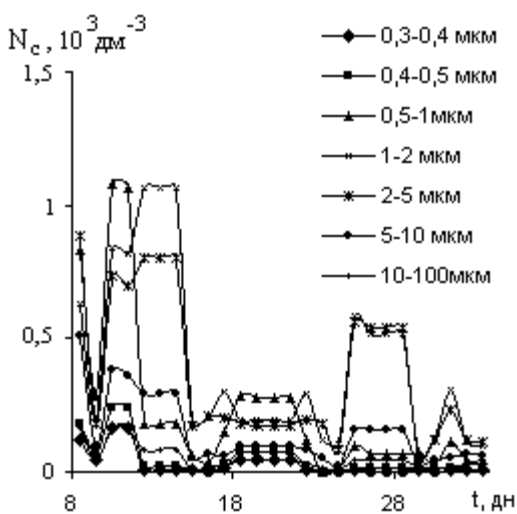


Рис. 8. Месячный ход микрофизических параметров приземного аэрозоля 8 сен. – 8 окт. в 14:00

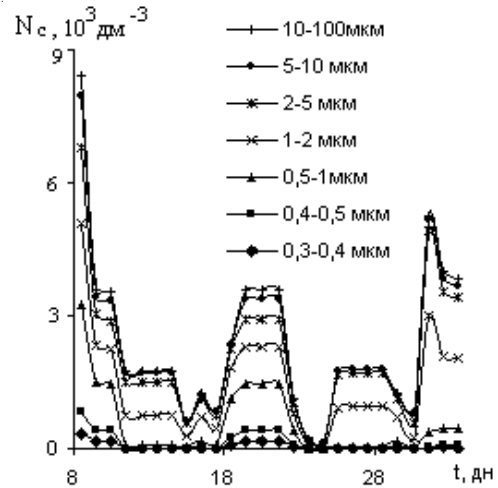


Рис. 9. Месячный ход микрофизических параметров приземного аэрозоля 8 сен. – 8 окт. в 20:00

На основании этих результатов можно судить о распределении аэрозольных частиц по размерам. На рисунке 10 представлена гистограмма, полученная путем обобщения данных для месячного хода среднесуточной счетной концентрации по каждой фракции.

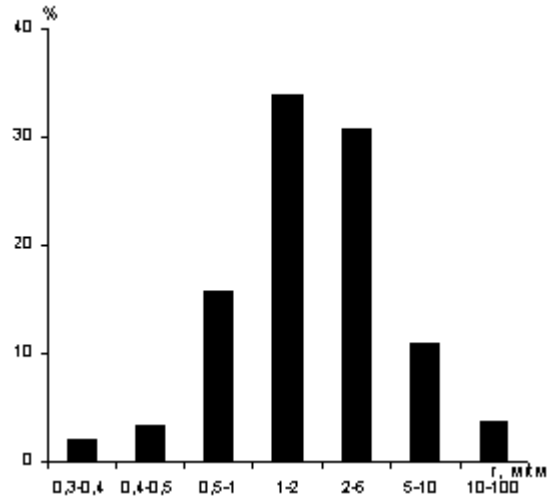


Рис. 10. Распределение аэрозольных частиц по размерам

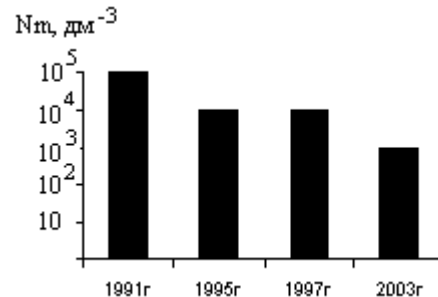


Рис. 11. Значения полной счетной концентрации в разные годы

Интересно проследить динамику полной счетной концентрации, полученной различными исследователями в разные годы в деловом центре Барнаула. На основании собственных

исследований и результатов [1, 2, 4] построена гистограмма (рис. 11), из которой видно, что за последние 13 лет значение полной счетной концентрации уменьшилось на 2 порядка.

### Литература

1. В.И. Букатый, А.А. Исаков, Н.В. Кисляк, И.А. Суторихин, Р.П. Черненко // Оптика атмосферы и океана. Т. 9. №6. 1996. С. 743–747.
2. Моношкина В.Г., Суторихин И.А. // Оптика атмосферы и океана. Т. 8. №4. 1995. С. 579–582.
3. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. Л., 1991.
4. Каплинский А.Е., Кисляк Н.В., Суторихин И.А. // Оптика атмосферы и океана. Т. 11. №12. 1998. С. 1341–1343.
5. Булдаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек. М., 1980.
6. Атмосфера: Справочник / Под ред. Ю.С. Седунова. Л., 1991. С. 472–473.