

# МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРОДСКОГО ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ

В.И. Букатый, А.С. Самойлов, И.А. Суторихин

*Объектом исследования в работе являлся приземный атмосферный аэрозоль, цель работы – мониторинг состояния приземного аэрозоля г. Барнаула. На основании полученных результатов были получены зависимости микрофизических параметров приземного аэрозоля от времени суток и метеоусловий (температуры, влажности, атмосферного давления, направления и скорости ветра), а также произведен сравнительный анализ динамики аэрозольной составляющей приземной атмосферы г. 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 разными исследователями [1-4] и сравнение их с результатами собственных исследований.

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. Учитывая то, что аэрозоль наиболее легко проникает в организм человека в процессе дыхания, т.е. ингаляционным путем, токсичные вещества, адсорбированные на поверхности частиц, могут вызывать различного рода заболевания и представляют определенную опасность для здоровья и жизни людей. Процесс поступления токсичных веществ в организм человека через органы дыхания с медицинской точки зрения хорошо изучен. 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 [5].

Для оценки степени загрязнения воздуха аэрозольными частицами, и, соответственно, качества атмосферы и влияния на здоровье человека необходимо знать различные количественные характеристики аэрозоля, в т.ч. элементный состав, счетную и массовую концентрацию, а также форму 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 установку, фотометр фотоэлектрический для аэрозолей ФАН и прибор контроля запыленности воздуха ПКЗВ-906. Отбор проб для определения массовой концентрации аэрозоля осуществлялся на фильтры типа АФА-ХА-20, взвешенные до и после экспонирования. Измерения счетной концентрации 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

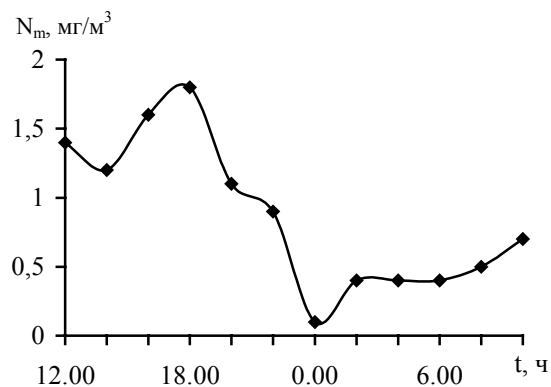


Рис. 1. Суточный ход массовой концентрации 7-8 мая 2003 г.

определялся при помощи фотометра фотоэлектрического для аэрозолей ФАН.

На рисунке 1 представлен суточный ход массовой концентрации частиц аэрозоля  $N_m$ . Измерения производились 7 мая 2003 г. с 12.00 ч по 24.00 ч и 8 мая 2003 г. с 0.00 ч по 10.00 ч на проспекте Красноармейском, 90. 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 ч, а минимальное – в 0.00 ч.

Такое поведение массовой концентрации обусловлено, по-видимому, следующими факторами: в конце рабочего дня близлежащие улицы (пр. Красноармейский, Социалистический, ул. Молодежная), являющиеся одними из крупнейших транспортных магистралей города, переполнены автотранспортом, выхлопные газы которого оказывают существенное влияние на состояние приземного аэрозоля в окрестностях данного опорного пункта. Этим фактом вкупе с хорошо прогретым к 18.00 ч 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 0.00 ч. 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, 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 ч 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. За данный промежуток времени массовая концентрация принимала значения от 0,8 до 1,5 мг/м<sup>3</sup>, температура окружающего воздуха изменялась в пределах от 18 до 25 °С.

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 0,04-1 мкм, температура изменялась от 23 до 30 °С.

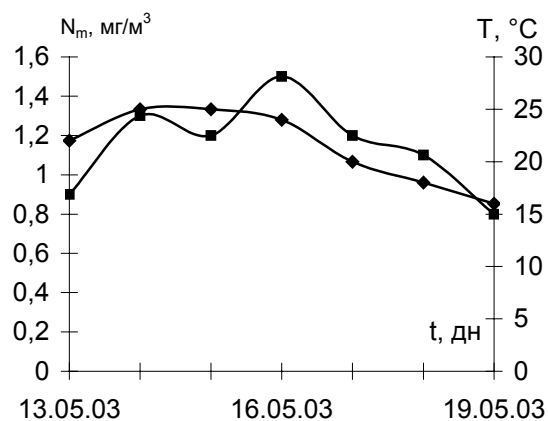


Рис. 2. Недельные изменения массовой концентрации и температуры 13–19 мая

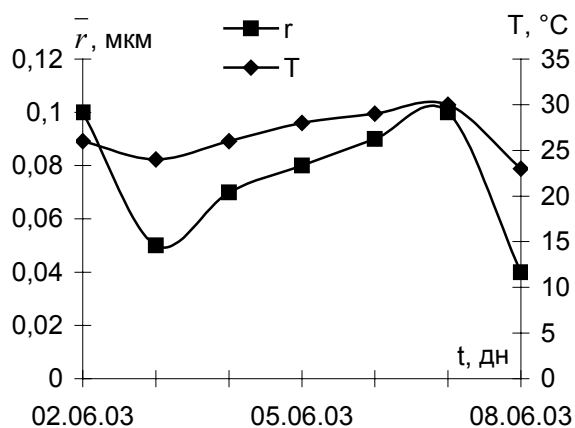


Рис. 3. Недельные изменения среднего радиуса частиц и температуры воздуха

Полученные результаты говорят о существовании некоторой зависимости среднего радиуса частиц и массовой концентрации аэрозоля от температуры атмосферного воздуха, характер которой 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 до-

## МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРОДСКОГО ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ

пустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ 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].

Для городов с численностью населения от 500 тыс. до 1 млн. человек (население Барнаула около 700 тыс.), максимальная разовая ПДК для пыли –  $2,96 \text{ мг/м}^3$ , среднегодовая –  $0,24 \text{ мг/м}^3$  [6]. Значения массовой концентрации, полученные в ходе проведенных экспериментов ( $0,1-1,75 \text{ мг/м}^3$ ) не превышают максимальную разовую ПДК.

В этом же опорном пункте в период с 22 по 29 декабря 2003 г. был проведен цикл экспериментов по измерению счетной концентрации аэрозольных частиц, взвешенных в атмосферном воздухе, в ходе которых была проанализирована суточная (рис. 4) и недельная (рис. 5) динамика счетной концентрации.

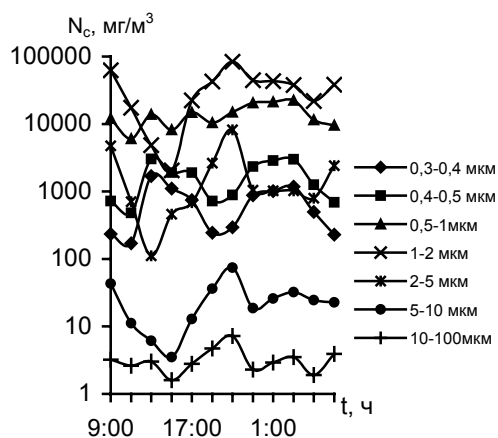


Рис. 4. Суточный ход счетной концентрации частиц различных фракций 24-25 декабря 2003 г.

Наблюдение за суточным ходом счетной концентрации частиц различных фракций было произведено 24-25 декабря 2003 г. В течение данных суток температура изменялась от  $-8$  до  $-16^\circ\text{C}$ , полная счетная концентрация принимала значения от  $1,3 \cdot 10^4 \text{ дм}^{-3}$  (в 15.00 ч 24 декабря) до  $1,1 \cdot 10^5 \text{ дм}^{-3}$  (в 21.00 ч 24 декабря). Из графика на рисунке 4 видно, что максимумы и минимумы концентраций частиц фракций 0,3-0,4 мкм, 0,4-0,5 мкм, 0,5-1 мкм совпадают, как совпадают и пики концентраций частиц, имеющих размеры 1-2 мкм, 2-

5 мкм, 5-10 мкм, 10-100 мкм. При этом на максимум мелкодисперсных (0,3-1 мкм) частиц приходится минимум грубодисперсных (1-100 мкм) и наоборот.

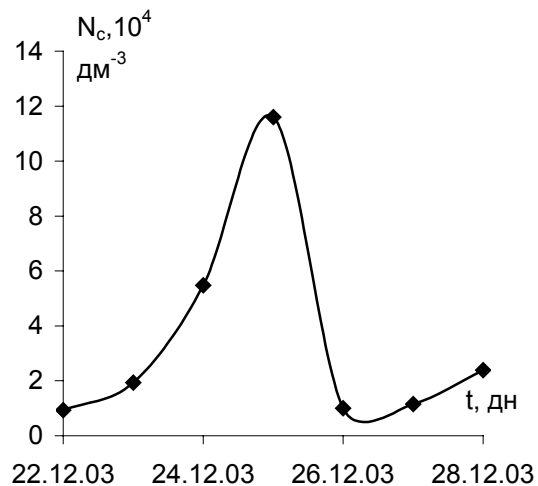


Рис. 5. Суточный ход полной счетной концентрации частиц 24-25 декабря 2003 г.

Недельный ход полной счетной концентрации показан на рисунке 5. Забор проб осуществлялся каждый день в течение недели в 20.00 ч. За данный промежуток времени температура атмосферного воздуха (в 20.00 ч) колебалась в интервале от  $-7$  до  $-14^\circ\text{C}$ . Максимум концентрации ( $1,1 \cdot 10^5 \text{ дм}^{-3}$ ) был зафиксирован 25 декабря 2003 г., в ясную, безветренную, без осадков погоду, при температуре  $-14^\circ\text{C}$ , давлении 748 мм рт. ст. Нужно отметить, что в этот вечер в окрестности опорного пункта наблюдался характерный смог. Минимум ( $9,3 \cdot 10^4 \text{ дм}^{-3}$ ) был получен 22 декабря 2003 г., в пасмурную погоду с небольшими осадками в виде снега, при температуре  $-7^\circ\text{C}$  и западном ветре со скоростью 8 м/с, давлении 737 мм рт. ст.

Полученные результаты интересно сравнить с результатами экспериментов 1991 и 1995 гг. по измерению концентрации частиц с помощью ПКЗВ-906. 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 ч 17.04.91 при юго-восточном

ветре 1-2 м/с, температуре 6°C, влажности 90%; а максимальное ( $9,4 \cdot 10^5 \text{ дм}^{-3}$ ) – в 23.10 ч 17.04.91 при юго-восточном ветре 0-1 м/с, температуре 5°C, влажности 45% [3].

Суточная динамика массовой и полной счетной концентрации была прослежена также в течение суток 19-20 апреля 1995 г. на проспекте Красноармейском, 90. 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.

Измерения производились с 14.00 ч 19 апреля до 14.00 ч 20 апреля 1995 г. 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 ч 19 апреля, а максимум – в 10.00 ч 20 апреля. Изменение температуры в данный период составило 1-9°C [4].

Обратимся к результатам суточного эксперимента 4 октября 1997 г., проведенного исследователями [5] недалеко от предыдущего опорного пункта, на пересечении пр. Красноармейского и ул. Партизанской. За время проведения данного эксперимента значения полной счетной концентрации варьировали в диапазоне  $3,3 \cdot 10^2-1,7 \cdot 10^5 \text{ дм}^{-3}$ , причем, минимум зафиксирован в 16.00 ч, а максимум – в 6.00 ч. В течение этих суток температура изменялась от 5 до 23°C. Сле-

дует отметить, что данные исследования проводились в условиях повышенного загрязнения города дымовым аэрозолем.

В 2003 г. в опорном пункте на Красноармейском, 90 величина массовой концентрации в течение суток 7-8 мая варьировала в интервале  $0,1-1,75 \text{ мг/м}^3$ , а наблюдение за ходом счетной концентрации в течение суток 24-25 декабря 2003 г. выявило изменение концентрации от  $1,3 \cdot 10^4$  до  $1,1 \cdot 10^5 \text{ дм}^{-3}$ .

Таким образом, можно проследить следующую динамику полной счетной концентрации приземного аэрозоля г. Барнаула. В период с 1991 по 2003 гг. существует тенденция к уменьшению ее максимальных значений, тогда как минимальные значения, напротив, увеличиваются из года в год.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букатый В.И., Исаков А.А., Кисляк Н.В., Суторихин И.А., Черненко Р.П. // Оптика атмосферы и океана. – 1996. – Т. 9, № 6. – С. 743-747.
2. Моношкина В.Г., Суторихин И.А. // Оптика атмосферы и океана. – 1995. – Т. 8, № 4. – С. 579-582.
3. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 252 с.
4. Каплинский А.Е., Кисляк Н.В., Суторихин И.А. // Оптика атмосферы и океана. – 1998. – Т. 11, № 12. – С. 1341-1343.
5. Булдаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек. – М.: Энергоатомиздат, 1980. – 160 с.
6. Атмосфера. Справочник / Под ред. Ю.С. Седунова – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – С. 472-473.