

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ
И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 551.510.42

В.Е. Зуев, Б.Д. Белан, Г.О. Задде, В.К. Ковалевский, Н.И. Протасов, Г.Н. Толмачев

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НАД Г. КЕМЕРОВО

По данным самолетных измерений исследуется вертикальное и горизонтальное распределение счетной концентрации аэрозоля над г. Кемерово. Показано, что ее величина может превышать фоновые величины в 70–500 раз. Имеются особенности в распределении частиц аэрозоля по спектру.

Аэрозоли, являясь постоянной составляющей воздуха и определяя ход многих атмосферных процессов и явлений, представляют важнейший объект исследования почти во всех областях науки об атмосфере. Особый класс аэрозолей составляют городские или антропогенные аэрозоли, содержащие в своем составе железо и сажу и весьма эффективно поглощающие солнечную радиацию, что, возможно, способствует возникновению инверсионных слоев в атмосфере и ведет, в свою очередь, к дополнительному накоплению аэрозольных и газовых загрязнений. Следует заметить, что комплексные исследования антропогенных аэрозолей над городом проводятся эпизодически из-за большой сложности их организации. Поэтому сведения о динамике городских аэрозольных загрязнений весьма ограничены.

В июне 1988 г. с целью отработки методов зондирования антропогенных загрязнений в городских условиях и оценки сложившейся экологической ситуации ИОА СО АН СССР провел комплексную экспедицию в г. Кемерово. В состав измерительных средств экспедиции входили лазерные локаторы (лидары), акустический локатор (сонар) и самолет-лаборатория. Это позволило исследовать пространственно-временную изменчивость газовых и аэрозольных загрязнений над городом. В настоящей работе приводятся некоторые результаты исследования аэрозольного загрязнения, полученные с помощью самолета-лаборатории, описанного в [1–3].

Для оценки диапазонов изменения количества аэрозоля над городом и вне него были организованы полеты на низкой высоте, которая определялась в каждый конкретный день аэронавигационной обстановкой. Направления трасс полетов выбирались с учетом направления ветра такими, чтобы можно было получить информацию о распределении аэрозоля на наветренной (незагрязненной) и подветренной (загрязненной) сторонах города, а также над районами города, где визуально наблюдается наибольший выброс аэрозоля. Результаты такого эксперимента, выполненного 20 июня 1988 г. около 15 часов местного времени, приведены на рис. 1 (D обозначает направление ветра, L — длина трассы в километрах).

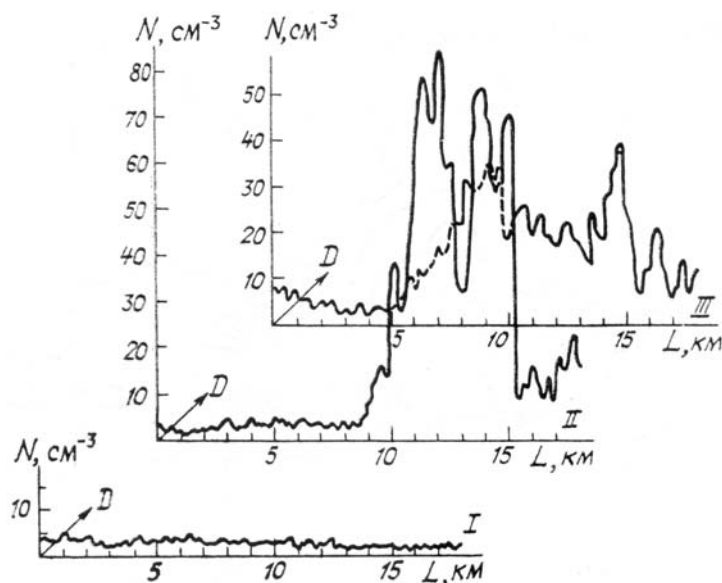


Рис. 1. Распределение счетной концентрации аэрозоля ($d \geq 0,4$ мкм, см^{-3}) над г. Кемерово 20.06.1988 г. на высоте 400 м

Из данных рис. 1 видно, что на наветренной стороне (маршрут I) концентрация частиц аэрозоля ($d \geq 0,4$ мкм) не испытывает существенных вариаций и имеет величину порядка $2-4 \text{ см}^{-3}$, характерную для данной высоты в этом регионе [4, 5]. На маршруте II, который проходил над задымленными районами, хорошо видны интенсивные выбросы аэрозоля, величина счетной концентрации в которых превышала 80 см^{-3} на высоте полета. Здесь следует отметить, что регистрация концентрации осуществлялась модернизированным счетчиком АЗ-5 [2] и велась бортовой системой с интервалом 1 с, что соответствует разрешению в пространстве 85 м. Отдельные отсчеты превышали значения $N = 120 \text{ см}^{-3}$. Однако для построения целостной картины при обработке пришлось перейти к осреднению по 3 точкам, поэтому максимальные величины получились несколько сглаженными. И, наконец, маршрут III демонстрирует картину аэрозольного загрязнения на выходе из города. Здесь можно отметить две детали: первая — амплитуда счетной концентрации на подветренной стороне явно уменьшилась, вторая — область повышенных концентраций аэрозоля стала значительно больше. Этот процесс уширения аэрозольного шлейфа за счет турбулентной диффузии хорошо изучен, и рис. 1 еще раз подтверждает тот факт, что антропогенная деятельность оказывает влияние и на окружающую город среду.

Второй этап эксперимента был посвящен изучению распределения загрязнений по площади, а также исследованию высоты подъема аэрозоля, так как в ходе технологических процессов он может выбрасываться в смеси с горячим газом и подниматься в более высокие слои воздуха. Для реализации этого эксперимента 22 июня 1988 г. были организованы многогоразовые полеты самолета-лаборатории над городом приблизительно на одинаковых расстояниях между трассами. Эксперимент удалось провести дважды: в период с 15^{15} по 15^{59} по местному времени (далее везде время местное) снять распределение аэрозоля на высотах 600 и 1100 м и в период с 21^{28} по 22^{24} отработать площадки на 500- и 900-метровой высоте. Ниже указанного уровня полеты не производились из-за аэронавигационной обстановки, а выше 1100 м наблюдалась слоистая облачность. Пространственное распределение счетной концентрации аэрозоля, построенное по данным этих измерений, представлено на рис. 2. Тонкими линиями со стрелками показаны маршруты полета, сплошными — счетная концентрация аэрозоля. Длина одного полета между поворотами ~ 18 км, данные для построения изолиний наносились с интервалом 170 метров. Сами изолинии проводились методом линейной интерполяции между соседними значениями.

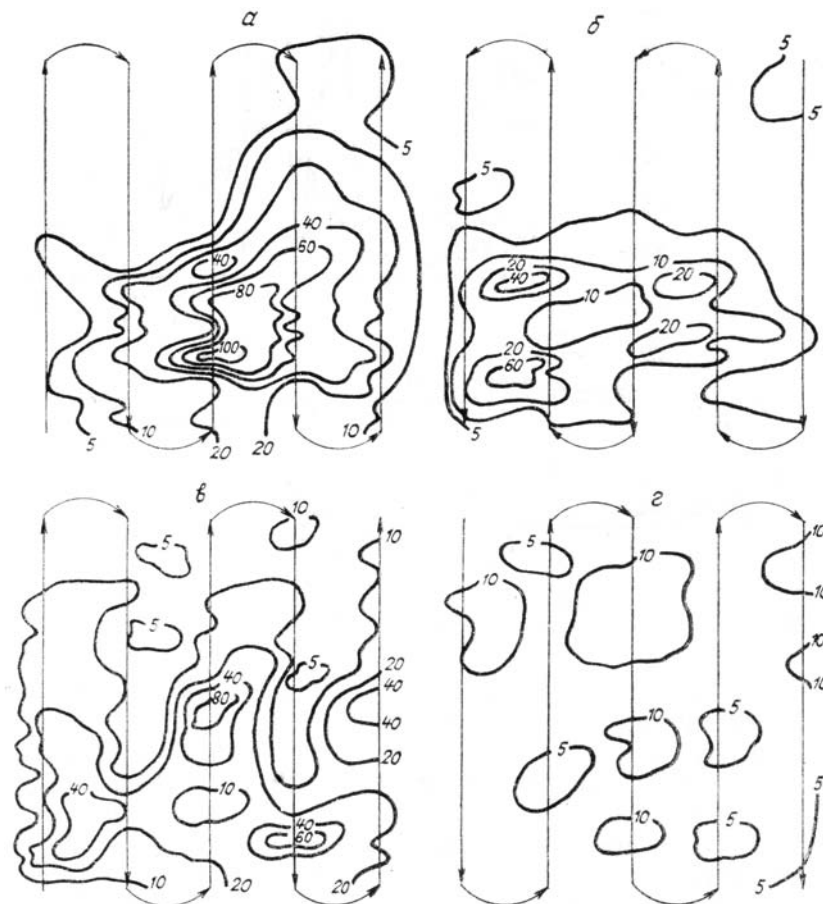


Рис. 2. Распределение счетной концентрации аэрозоля ($d \geq 0,4$ мкм, см^{-3}) над г. Кемерово 22.06.1988 г. в период $15^{15}-15^{59}$ на высоте а — 600 м, б — 1100 м; в период $21^{28}-22^{24}$ на высоте в — 500 м, г — 900 м

Из данных рис. 2, *a* видно, что над большей частью территории на высоте 600 м в дневные часы счетная концентрация аэрозоля имеет высокие значения, явно превышающие фоновые величины, полученные для данного региона в [4, 5]. Так, в нижней части (рис. 2, *a*) видна область, где счетная концентрация аэрозоля превышала величину 100 см^{-3} . Это объясняется тем, что первое зондирование выполнено после полудня, когда атмосфера стратифицирована неустойчиво и имеются условия для распространения примеси по вертикали. Это хорошо видно на рис. 2, *б*, где приведено поле счетной концентрации на высоте 1100 м. Хотя значения концентрации на данной высоте значительно ниже, чем на высоте 600 м, тем не менее, можно выделить две зоны, в которых концентрация аэрозоля весьма высокая. По-видимому, эти зоны создаются по типу плавучих струй, при постоянно действующем «горячем» источнике [6], так как они наблюдаются и на высоте 600 м, хотя и смещены в пространстве.

Вечернее зондирование, выполненное в период с 21²⁸ по 22²⁴, показывает, что на высоте 500 м поле концентрации аэрозоля несколько видоизменяет свою форму, а на высоте 900 м вообще существенно отличается, по сравнению с дневным полем (рис. 2, *в*, *г*). Очевидно, что такая трансформация связана как с суточным ритмом предприятий, так и с суточным ходом стратификации воздуха: в вечернее время обычно начинает формироваться инверсия температуры, которая препятствует переносу загрязнений вверх.

Сравнение рис. 2, *б* и 2, *г* показывает, что в вечернее время выше 500 м и количество аэрозоля, переносимого вверх, существенно меньше, чем в дневное. Причем области, в которых происходит перенос с нижележащего уровня на вышележащий, не совпадают. Результаты вертикального зондирования, выполненного в этот период, показывают, что в слое 0,5–0,6 км сформировалась инверсия, которая и препятствует поступлению аэрозоля на высоту 900 м.

Более детально действие инверсии проявляется на рис. 3, который построен по данным зондирования 23 июня 1988 года в полдень (12⁰⁰) и вечером около 18 часов.

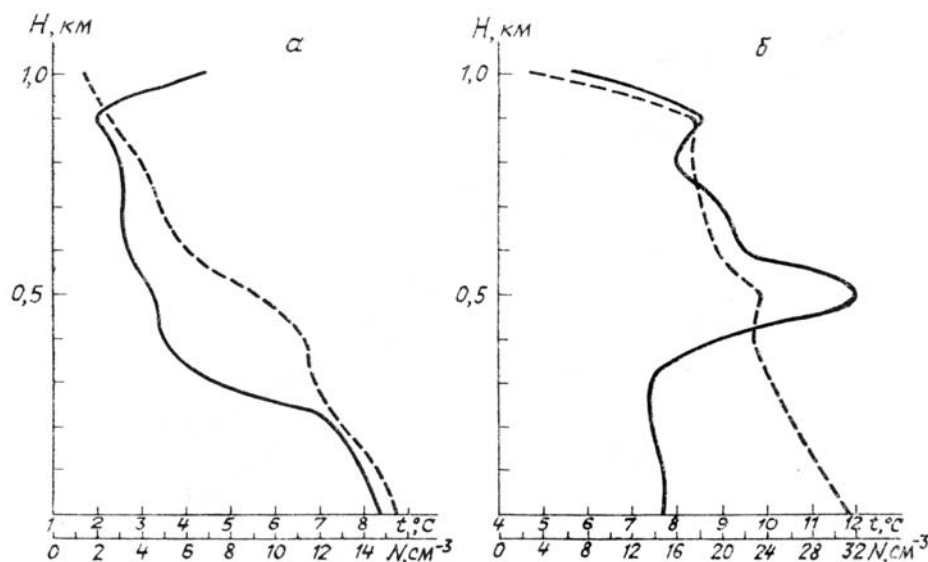


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры (сплошная линия) и аэрозоля (штриховая) над г. Кемерово 23.06.1988 г.: *a*—12⁰⁰ местного времени; *б*—18⁰⁰ местного времени

Из рис. 3, *a* видно, что в полдень, когда температура воздуха падает с высотой и должен существовать хороший турбулентный обмен по вертикали, резко падает и концентрация аэрозоля (увеличение в слое 0,9–1,0 км связано с образованием подоблачной дымки). В вечернее время (рис. 3, *б*) можно выделить два устойчивых слоя на высотах 0,4–0,5 км и 0,8–0,9 км, в которых наблюдается инверсия температуры. Им же соответствуют и инверсии в концентрации аэрозоля на тех же высотах. Причем в нижнем 400-метровом слое атмосферы происходит накопление аэрозоля (по крайней мере, его концентрация в этом слое мало изменяется с высотой). Значение концентрации аэрозоля на рис. 3 несколько меньше, чем на рис. 2. Это объясняется тем, что зондирование производилось в районе аэропорта, удаленном от основных источников аэрозоля.

Для промышленных аэрозолей характерно наличие в них токсичных микроэлементов, таких как Hg, Cd, Se и др. Как правило, эти вещества концентрируются преимущественно на частицах диаметром меньше 1 мкм [7]. Именно такие мелкие частицы представляют наибольшую опасность, так как они осаждаются в легочной части дыхательной системы. Поэтому представляют интерес сведения о распределении частиц аэрозоля по спектру размеров, полученные в загрязненных и фоновых условиях. Такие данные, соответственно для маршрутов I, II и III, (рис. 1) приведены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что над наиболее загрязненными районами (кривая 2) концентрация всех фракций аэрозоля превышает в 50–70 раз фоновые величины (кривые 1). Концентрация же частиц фракции $d = 0,8–1,0 \text{ мкм}$ возрастает по сравнению с фоновыми в 500 раз. Следовательно, над горо-

дом происходит увеличение концентрации наиболее биологически активной аэрозольной компоненты. Эта же тенденция сохраняется и за пределами города (кривая 3, маршрут III), хотя содержание аэрозоля меньше по абсолютной величине, чем над самыми загрязненными районами (кривая 2).

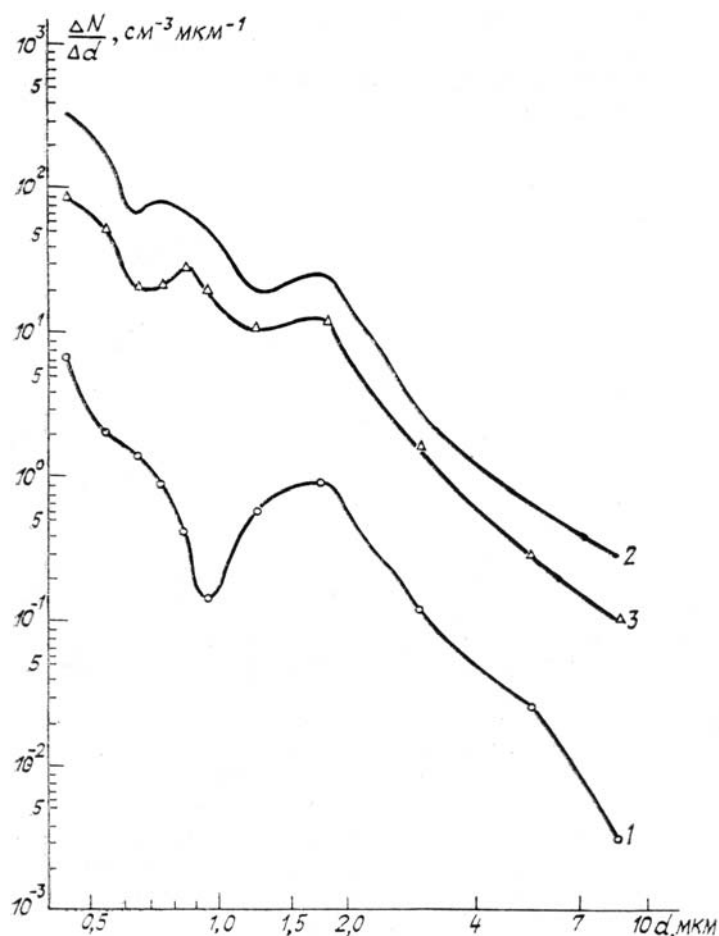


Рис. 4. Распределение частиц аэрозоля по спектру над г. Кемерово 20.06.1988 г. на высоте 400 метров:
1 — маршрут I, 2 — маршрут II и 3 — маршрут III

Таким образом, проведенные эксперименты показывают, что содержание в воздухе аэрозольных частиц над г. Кемерово многократно превышает содержание, которое характерно для фоновых условий в этом регионе. Загрязнения не рассеиваются мгновенно, а могут накапливаться, особенно при наличии инверсии температуры. Распределение частиц аэрозоля по размерам над задымленными районами отличается особенно высокой концентрацией частиц менее 1 мкм по сравнению с таким же распределением частиц, полученным с наветренной стороны города.

1. Белан Б. Д. //Аппаратура дистанционного зондирования параметров атмосферы. Томск: ТФ СО АН СССР. 1987. С. 34.
2. Ковалевский В. К., Толмачев Г. Н. //Там же. С. 53.
3. Беспалов А. С., Громаков Е. И., Покровский Е. В. и др. //Там же. С. 59.
4. Белан Б. Д., Матвиенко Г. Г., Пхалагов Ю. А. //Тезисы докладов III Всес. совещания по атмосферной оптике и актинометрии. Томск. 1983. Ч. 1. С. 79.
5. Белан Б. Д., Задде Г. О. //Тезисы докладов Всес. конференции «Трансформация и дальнейший перенос газовых и аэрозольных примесей в атмосфере». Вильнюс, 1986. С. 110.
6. Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкостях. М.: Мир, 1977. 431 с.
7. Glandau E. S. et al. //Environ Sci. Technol. 1974. V. 8. P. 551.

Институт оптики атмосферы СО АН СССР,
Томск

Поступила в редакцию
22 ноября 1988 г.

V. E. Zuev, B. D. Belan, G. O. Zadde, V. K. Kovalevskii, N. I. Protasov,
G. N. Tolmachev. **Some Characteristics of the Aerosol Pollution over Kemerovo City.**

Vertical and horizontal distributions of the aerosol number density over Kemerovo city is investigated in the paper based on the data of airborne measurements. It is shown that the number density exceeded the background levels by a factor of 70 to 500. Certain peculiarities in the aerosol size spectrum were also observed in this study.