

М. Ю. Аршинов, Б. Д. Белан, В. К. Ковалевский, Г. Н. Толмачев

РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИМАТО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА TOR-СТАНЦИИ. Ч. 3. АТМОСФЕРНЫЙ АЭРОЗОЛЬ

По результатам круглосуточного мониторинга аэрозоля проанализированы его газовой и суточный ход. Проведено сопоставление с данными для других регионов и интегральным его содержанием в вертикальном столбе воздуха. Выполнены оценки неоднородности аэрозольных полей.

Исследование динамики аэрозоля в атмосфере необходимо по нескольким причинам. Во-первых, взвешенные в воздухе частицы, рассеивая и поглощая солнечное излучение, приходящее к поверхности земли, тем самым участвуют в формировании радиационного баланса и, соответственно, климата планеты. Во-вторых, являясь активными ядрами конденсации, аэрозольные частицы способствуют образованию облачности, что также влияет на динамику климата. В-третьих, аэрозоль является одной из форм нахождения загрязнений воздуха в атмосфере, что определяет экологическую обстановку того или иного района. В зависимости от механизма происхождения частиц (террагенное, *in situ* или антропогенное) и от соотношения их мощности в каждом конкретном регионе создается своя «аэрозольная погода» [1], определяющая климатический и экологический режим данной местности. Следовательно, изучение пространственно-временной изменчивости атмосферного аэрозоля и его характеристик должно быть обязательным элементом долговременного геофизического контроля, что и нашло свое отражение при организации климато-экологического мониторинга Сибири (КЭМС) [2]. В настоящей статье анализируется динамика аэрозоля в приземном слое воздуха в районе г. Томска по данным измерений с помощью TOR-станции, работающей в круглосуточном и круглогодичном режимах [3].

Так же, как и в предыдущих статьях этого цикла, анализ начнем с годового хода концентрации аэрозоля.

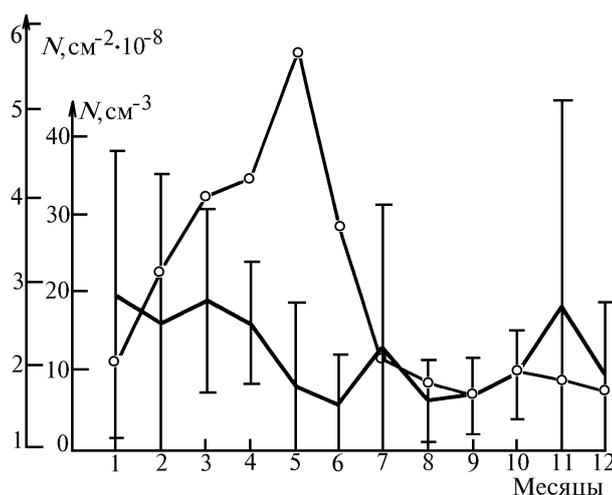


Рис. 1. Годовой ход счетной концентрации аэрозоля в приземном слое воздуха г. Томска (—) и средний многолетний годового хода ее интегрального содержания в вертикальном столбе воздуха над Западной Сибирью (---); вертикальные отрезки — среднеквадратическое отклонение

Из рис. 1, на котором представлены годовой ход счетной концентрации аэрозоля ($d \geq 0,4$ мкм), полученный на TOR-станции в 1993 г., и средний многолетний годовой ход интегрального содержания аэрозоля в вертикальном столбе воздуха сечением 1 см^2 над Западной Сибирью, построенный по данным самолетного зондирования [4], видно, что они значительно различаются. В приземном слое, если не считать двух вторичных максимумов в июле и ноябре, максимум счетной концентрации наблюдается в холодное время года, минимум – в теплый период. Такой годовой ход обусловлен тем, что при постоянном характере генерации аэрозоля его концентрация в приземном слое будет определяться высотой слоя перемешивания, т. е. объемом воздуха, в котором частицы распределяются. Средний многолетний слой перемешивания, по данным самолетного зондирования над Западной Сибирью, имеет прямо противоположный ход с максимумом в июле и минимумом в декабре – январе [5]. Сезонный же ход интегрального содержания аэрозоля в вертикальном столбе воздуха определяется суперпозицией ряда механизмов [6]. При этом ключевым является фотохимическое образование частиц *in situ* в весенний период по аналогии с озоном. Вторичные максимумы в 1993 г. связаны с особенностями циркуляции атмосферы в этот период [7].

Такие различия в годовых ходах счетной концентрации аэрозоля в приземном слое и ее интегрального содержания по вертикали требуют не только теоретического объяснения, но и независимой проверки. Почти аналогичное исследование аэрозоля было выполнено в Подмосковье в 1991 г. [8]. С помощью проточного нефелометра контролировалась в течение года массовая концентрация аэрозоля. Для сравнения данных счетная концентрация была пересчитана в массовую по распределениям частиц по размерам и пронормирована на максимальное значение. Такая же операция была проделана и с данными, опубликованными в [8].

Из рис. 2, который был построен по нормированным величинам, видно, что, несмотря на различия в местоположениях пунктов и периодов измерений, общая тенденция в годовых ходах сохраняется: максимум концентрации наблюдается в холодный период года, минимум – в теплый.

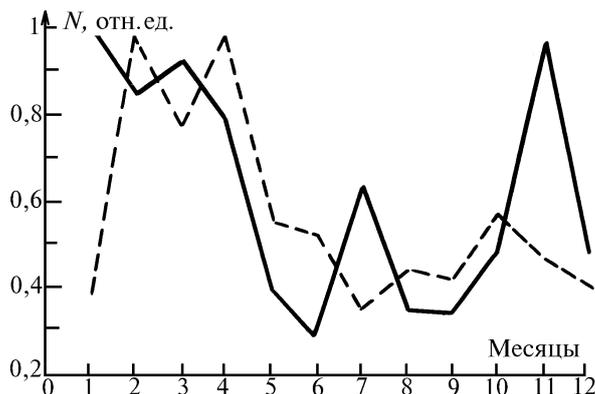


Рис. 2. Нормированный годовой ход массовой концентрации аэрозоля в Томске (—) и Подмосковье(---)

Если же сдвинуть во времени на месяц назад кривую, полученную для г. Томска, то сходство между годовыми ходами, особенно в весенне-летний период, усилится. Возможно, что продукты фотохимического образования аэрозоля, которое происходит на европейской территории раньше вследствие западно-восточного переноса, перемещаются затем на территорию Западной Сибири. Однако для окончательного вывода необходим более длинный ряд измерений.

Как известно, аэрозольное поле атмосферы формируется в результате действия многих источников, интенсивность которых может изменяться в течение года. Проявляется оно может в дисперсном распределении частиц и их химическом составе. Проанализируем динамику годового хода дисперсного состава аэрозоля, представленную на рис. 3.

Из рис. 3, а видно, что субмикронная фракция имеет почти такой же годовой ход, что и суммарная счетная концентрация (см. рис. 2). Это не удивительно, так как мелко-дисперсная фракция в эксперименте не измерялась и поэтому величина суммарной счетной концентрации в значительной мере определялась субмикронной. Отметим только, что ход кривой на рис. 3, а более гладкий, чем на рис. 2.

По сложившимся представлениям между субмикронной и грубодисперсной фракциями аэрозоля на кривой распределения частиц по спектру размеров должен находиться минимум, которой находится в среднем вблизи 1 мкм. На рис. 3, б показан ход изменения концентрации частиц, имеющих размеры, лежащие вблизи минимума. Этот рисунок демонстрирует почти монотонное убывание концентрации аэрозоля от января к августу – декабрю. Исключение составляют лишь май – июнь, нарушающие эту монотонность.

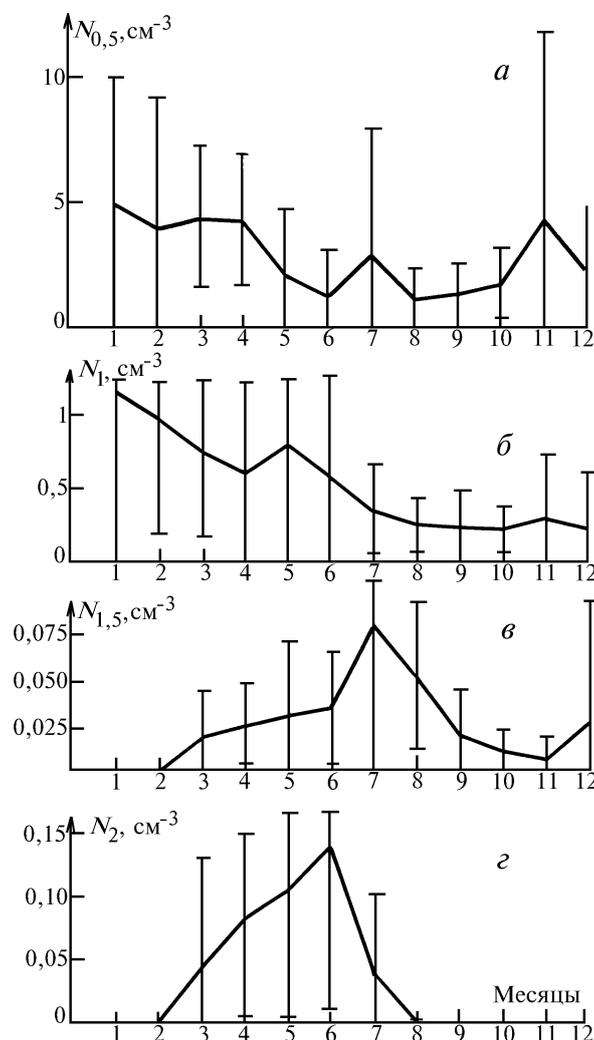


Рис. 3. Изменение концентрации отдельных фракций аэрозоля в 1993 году в районе Томска: а – частицы с диаметром $d = 0,5 \div 0,6$ мкм; б – $d = 1 - 1,5$ мкм; в – $d = 1,5 \div 2$ мкм; г – $d = 2 \div 4$ мкм; вертикальные отрезки – среднеквадратическое отклонение

Источником грубодисперсной фракции является, как правило, подстилающая поверхность и частично «состарившиеся» в атмосфере частицы фотохимического происхождения. Из рис. 3, в и г следует, что в районе пункта измерений основным источником можно считать подстилающую поверхность, так как в зимние месяцы концентрация частиц таких размеров почти нулевая. Это, на наш взгляд, обусловлено тем, что покрытая снегом поверхность является лишь стоком для грубодисперсной фракции, а сама ее не производит. В летние же месяцы усиление ветра и высыхание поверхности земли способствуют процессам диспергирования и подъема частиц, а более интенсивная, чем зимой, турбулентность – переносу грубодисперсных частиц вверх.

Вместе с тем следует обратить внимание на очень большое подобие хода кривых на рис. 3, г и кривой интегрального содержания аэрозоля в вертикальном столбе воздуха на рис. 1. Их большое сходство позволяет предположить, что в годовом изменении грубодисперсной фракции аэрозоля некоторую часть, при переходе от весны к лету, составляют части-

цы фотохимического происхождения, укрупнившиеся и состарившиеся в более высоких слоях в период природного смогообразования, которые оседают на поверхность земли.

Таким образом, годовой ход дисперсного состава частиц выявляет особенности действия различных источников в разные сезоны.

Не приводя графиков суточного хода, отметим, что так же, как и в [8], для аэрозоля он лучше выражен в летние месяцы, чем в зимние. Для него характерно два максимума: в утренние (9–11) часы и в период захода солнца (21–24). В зимний период суточный ход не так сильно выражен. Утренний максимум сохраняется, но сдвигается на более поздний срок (10–12 ч местного времени), что, по-видимому, обусловлено более поздним восходом солнца. Вечерний максимум исчезает, но появляется ночной: в период с 22 до 2 ч, после чего наблюдается уменьшение концентрации.

Отсутствие мощных неприводных источников аэрозоля вблизи пункта измерений затрудняет пока интерпретацию такого суточного хода, а именно: является ли он проявлением естественных процессов или это воздействие г. Томска, расположенного вблизи пункта измерений. На обсуждении этого вопроса подробнее остановимся в следующей статье этого цикла.

Важное место в мониторинге аэрозоля занимает контроль химического состава, который позволяет выявить источники его поступления в атмосферу, а также определить оптические константы, необходимые для расчета в радиационных моделях. Однако в настоящее время не существует оперативных методов, позволяющих решать эту проблему. Сложившаяся практика заключается в предварительном отборе проб с концентрированием и последующим анализом в лаборатории. Операция достаточно трудоемкая и дорогостоящая. Поэтому в 1993 г. этот вид измерений применялся лишь эпизодически: в апреле и июле.

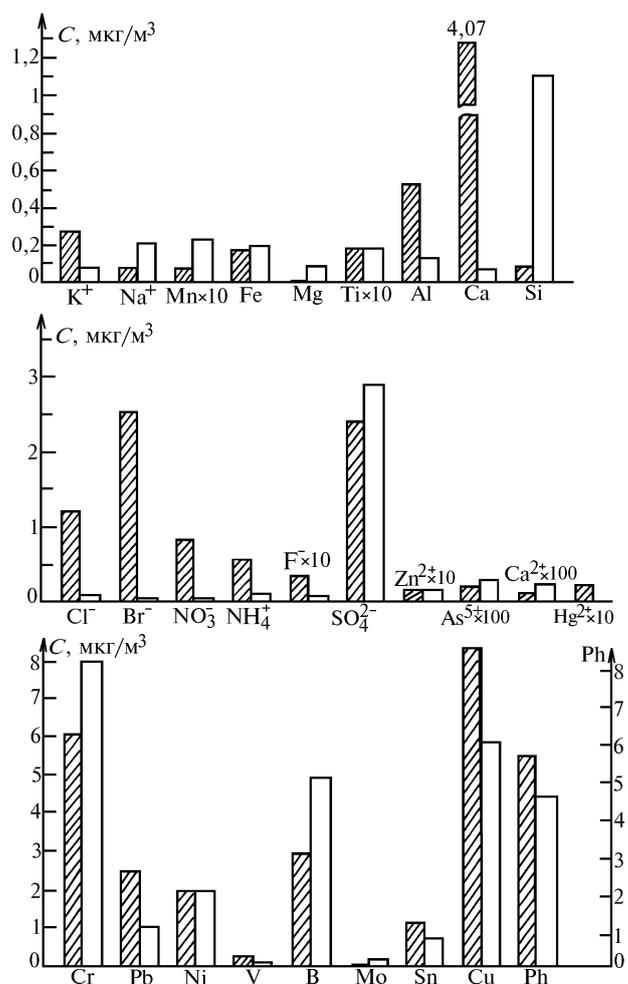


Рис. 4. Химический состав аэрозоля в районе Томска: заштрихованные участки – апрель 1993, светлые – июль 1993

Отбор и концентрирование частиц осуществлялись на фильтрах типа АФА-ВП-20. Продолжительность отбора составляла 24 ч. Затем фильтры обрабатывались в аналитической лаборатории Томского госуниверситета группой сотрудников под руководством З.И. Отмаховой. Применявшиеся методы и пороги обнаружения подробно описаны нами ранее в [9]. Среднемесячные характеристики химического состава частиц приведены на рис. 4, где все определяемые ионы и элементы условно разделены на три группы: верхний ряд – это те, которые содержатся в частицах при их естественном образовании, обычно называемые террагенными; средний ряд – элементы, попадающие в состав частиц в результате антропогенной деятельности или фотохимических процессов; нижний ряд – микроэлементы, которые могут иметь как террагенный, так и антропогенный источник образования. Соотношение концентрации первой и второй групп почти одинаково для территории Западной Сибири, суммарный вклад микроэлементов составляет несколько процентов [10].

Из рис. 4 видно, что от весны к лету несколько изменился состав террагенной компоненты: увеличилась в 2 раза концентрация Na^+ , что свидетельствует о повышении повторяемости морских воздушных масс в районе измерений [7]; значительно уменьшилась концентрация Al (в 3 раза) и Ca (почти в 40 раз), зато возросла концентрация Si (~10 раз) и Mg. Последние также указывают на то, что в июле поступление воздушных масс на территорию региона отличалось от апрельского.

Значительно уменьшился в июле вклад антропогенной компоненты Cl^- , Br^- , NO_3^- , NH_4^+ , F^- , за исключением иона SO_4^{2-} , если не учитывать ионы Zn^{2+} , As^{5+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , концентрация которых в регионе в 10 – 100 раз меньше, чем остальных. Возможно, что это обусловлено лучшим рассеиванием антропогенных выбросов в летний период.

Концентрация микроэлементов в целом также уменьшилась от апреля к июлю. Исключения составляют лишь Cr, V и Mo.

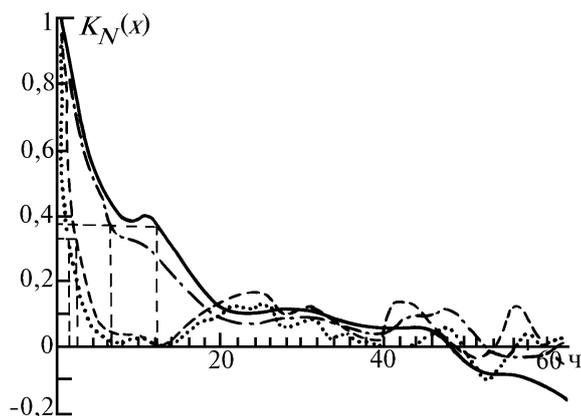


Рис. 5. Автокорреляционные нормированные функции счетной концентрации аэрозоля $d > 0,4$ мкм: сплошная кривая – январь, штриховая – июль; $d = 1,5 \div 2$ мкм: штрихпунктирная – январь, точки – июль

Сравнение результатов, полученных на TOR-станции, с данными для других регионов, выполненное в [11], показывает, что они заметно отличаются, и в первую очередь весьма высоким вкладом фотохимической компоненты.

И наконец, оценим масштабы аэрозольных полей по автокорреляционным функциям. Для этого воспользуемся той же методологией, что и для оценки газовых компонент [10]. Соответствующие кривые приведены на рис. 5, где горизонтальными линиями показаны уровни значимости коэффициентов корреляции по уровню 0,9995. Рассчитанные по полученным радиусам корреляции пространственные масштабы аэрозольных полей приведены в таблице.

Из данных таблицы следует, что средние масштабы аэрозольных полей для суммарной счетной концентрации составляют 161 и 56 км в январе и июле соответственно. Для грубодисперсной фракции эти значения существенно меньше: 31 км в январе и 14 в июле. Такие различия вполне закономерны, так как грубодисперсная фракция плохо увлекается воздухом и более изменчива в пространстве.

Пространственные масштабы (км) аэрозольных полей в районе г. Томска в 1993 г.

Месяц	Диаметр частиц	
	$d \geq 0,4$ мкм	$d = 1,5 \pm 2,0$ мкм
Январь	161	31
Июль	56	14

Вместе с тем средние масштабы аэрозольных полей значительно меньше, чем для рассмотренных в [10] газов, особенно в зимний период, что еще раз подчеркивает необходимость регулярного контроля аэрозольного состава воздуха.

1. Белан Б.Д., Отмахова З.И., Толмачев Г.Н. //Тезисы докладов I Межреспубликанского симпозиума «Оптика атмосферы и океана». Часть 1. Томск, 1994. С. 76.
2. Кабанов М.В. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 2. С. 145–162.
3. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Зуев В.В. и др. // Оптика атмосферы и океана, 1994. Т. 7. N 8. С. 1085–1092.
4. Белан Б.Д., Задде Г.О., Панченко М.В. и др. // Оптические свойства земной атмосферы. Томск: ТФ СО АН СССР, 1988. С. 45–51.
5. Белан Б.Д. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 8. С. 1045–1054.
6. Белан Б.Д., Зуев В.В., Панченко М.В. // Тезисы докладов I Межреспубликанского симпозиума «Оптика атмосферы и океана». Часть 1. Томск, 1994. С. 49–50.
7. Аршинова В.Г., Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 5. С. 732–740.
8. Сидоров В.Н. Вариации содержания субмикронного аэрозоля в приземном слое (Подмосковье, 1991). // Препринт ИФА РАН, 1992. N 9. 75 с.
9. Белан Б.Д., Вавер В.И., Ковалевский В.К. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 5. С. 559–592.
10. Белан Б.Д., Мелешкин В.Е., Мелешкина И.Е., Толмачев Г.Н. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 6. С. 875–884.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
г. Томск

Поступила в редакцию
21 июля 1994 г.

M. Ju. Arshinov, B. D. Belan, V. K. Kovalevskii, G. N. Tolmachev. **Results of Climatic-Ecological Monitoring at TOR-Station. P.3. Atmospheric Aerosol.**

Gaseous and 24-hour behaviour of aerosol is analysed based on results of round-the-clock monitoring. Comparison is conducted with the data from other regions as well as with its total content inside vertical air column. Aerosol fields inhomogeneities are estimated.