

**В.Г. Аршинова, Б.Д. Белан, Е.В. Воронцова, Г.О. Задде, Т.М. Рассказчикова,
О.И. Семьянова, Т.К. Складнева**

ДИНАМИКА АЭРОЗОЛЯ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ АТМОСФЕРНЫХ ФРОНТОВ

По данным измерений дисперсного состава аэрозоля в районе г. Томска за 1993–1994 гг. анализируется его изменение при прохождении атмосферных фронтов. Показано, что в зоне фронта происходит не просто скачок концентрации, а имеется сложный ход с максимумами и минимумами. Вид кривой изменения концентрации аэрозоля в зоне фронта зависит от направления его движения: холодный или теплый, и географического типа: арктический, полярный или тропический.

Достаточно давно установлено, что все наиболее существенные изменения оптических свойств атмосферы связаны с образованием, трансформацией и гибелью основных объектов общей циркуляции: фронтальных разделов, циклонов, антициклонов, ложбин, гребней и т.д. Подробный обзор таких взаимосвязей имеется в [1], где также показано, что реализуются эти взаимосвязи через вариации газового и аэрозольного состава воздуха. Однако, несмотря на многочисленные исследования состава воздуха в разных физико-географических районах, связь его состава с основными синоптическими объектами остается все еще малоизученной. Это, по-видимому, происходит потому, что измерения состава воздуха носят эпизодический, а не мониторинговый характер. В силу же многообразия синоптических ситуаций, реализующихся в конкретном эксперименте, за ограниченный период не удается набрать статистически обеспеченного материала для какого-нибудь одного синоптического объекта. Введение в мониторинговый режим TOR-станции [2] позволило нам решить проблему статистически обеспеченного набора данных для целого ряда синоптических ситуаций.

В настоящей статье по результатам измерений дисперсного состава аэрозоля на TOR-станции за период с 1993 по 1994 г. рассматривается динамика аэрозоля при прохождении атмосферных фронтов. Такие ситуации выбраны потому, что еще в 1948 г. С.П. Хромов показал, что внутри какой-либо воздушной массы фактор мутности распределен относительно однородно и скачкообразно изменяется в зоне фронтов [3]. Однако детальных характеристик этого скачкообразного изменения не привел. Поэтому в данной статье делается попытка восполнить этот пробел.

Положение фронта определялось по приземным картам и картам барической топографии, любезно представленным Томским областным центром по гидрометеорологии. В связи с тем что фронт представляет собой сложное образование с предфронтальными и постфронтальными облачными полями, зонами осадков, усилением и конвергенцией вектора ветра и достаточно узкой (10–20 км) полосой самой приземной линии фронта [4], а измерения аэрозоля проводилось в одной точке с интервалом 1 ч, то положение фронта для каждого из рассмотренных случаев фиксировалось за 5, 4, 3, 2, 1 ч до появления приземной линии фронта, в момент ее появления в пункте измерений и удаления через 1, 2, 3, 4, 5 ч в тылу фронта. Всего за указанный период было проанализировано 304 случая, которые по направлению движения и географическим признакам разделяются следующим образом: холодные фронты – 93, из них: арктические – 61, полярные – 32; теплые фронты – 95, из них: арктические – 63, полярные – 32; фронты окклюзии – 49, из них: арктические – 5, полярные – 33, тропические – 11; приземные холодные фронты – 51; верхние теплые фронты – 14.

Поскольку счетная концентрация аэрозоля имеет суточный и годовой ход [5, 6], для того, чтобы результаты были сопоставимы между собой для разного времени суток и различных сезонов, все данные о концентрации за 5, 4, 3, 2, 1 до линии фронта и за 1, 2, 3, 4, 5 ч после нее нормировались на значение, соответствующее моменту прохождения линии фронта. Таким образом, все данные о динамике аэрозоля при прохождении фронта представляют собой относительные величины.

Вначале рассмотрим относительное изменение концентрации аэрозоля в зависимости от направления движения фронтов, которое представлено на рис. 1.

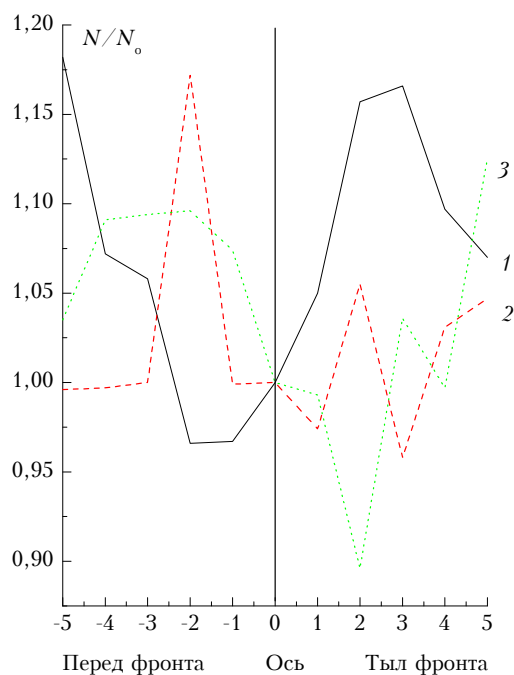


Рис. 1. Изменение счетной концентрации аэрозоля ($d \geq 0,4$ мкм) при прохождении через г. Томск фронтов: 1 – холодного, 2 – теплового, 3 – окклюзии

Из рис. 1 следует, что при прохождении холодного фронта концентрация аэрозоля начинает убывать за 5 ч до приземной линии (оси) фронта, т.е., учитывая среднюю скорость перемещения фронта 40–60 км/ч [4], за 300–240 км до его оси. Перед самой линией фронта (40–60 км) концентрация аэрозоля начинает расти и достигает почти тех же значений, что и в теплой воздушной массе на расстоянии 100–180 км за линией фронта. После чего концентрация заметно убывает в холодной воздушной массе на расстоянии 240–300 км в тылу фронта. Такое изменение концентрации обусловлено тем, что в передней области холодного фронта, как правило, выпадают интенсивные осадки, сопровождающиеся интенсивной турбулентностью [4]. Это приводит к тому, что часть аэрозоля вымывается из атмосферы, а часть рассеивается в большем объеме. Рост концентрации в тылу фронта также создается двумя встречными процессами: усилением скорости ветра вблизи линии фронта и связанной с ней динамической турбулентностью, которая сверху ограничивается фронтальной инверсией. Это приводит к тому, что поднятый вновь с подстилающей поверхности аэрозоль рассеивается в значительно меньшем объеме. После прохождения фронта, когда возмущения в нижнем слое ослабевают, аэрозоль начинает подчиняться законам его формирования, наблюдающимся в однородной воздушной массе.

Теплый фронт, как правило [3, 4], имеет обратный характер распределения метеовеличин и меньшую интенсивность атмосферных процессов. Поэтому ход изменения концентрации аэрозоля при его перемещении – противоположный холодному (кривая 2 на рис. 1). Исключение составляет лишь зафронтальный вторичный максимум (1–3 ч), значимый по уровню вероятности 99%. Возможно, его появление связано с тем же постфронтальным усилением ветра и турбулентности. Однако для проверки этого предположения необходим специальный эксперимент.

В данной работе, чтобы не обеднять статистику, мы не делили фронты окклюзии по способу образования на теплые и холодные. Судя по рис. 1, в нашу выборку попали в основном теплые фронты, так как кривая 3 весьма сильно напоминает кривую 2. Отличие между ними заключается лишь в масштабе воздействия на поле аэрозоля, которое для фронтов окклюзии значительно больше, чем для теплых. Здесь также наблюдаются предфронтальной «валик» аэрозоля и вторичный максимум, значимый по уровню вероятности 95%, но несколько позже по времени. Различия, по-видимому, обусловлены тем, что фронты окклюзии характерны для «старых» циклонов, которые менее подвижны, и поэтому при однократной методике их более медленное перемещение и дает такой временной эффект.

Поскольку атмосферные фронты отличаются не только по направлению и способу образования, но и по географическим признакам, так как разделяют воздушные массы с разным ареалом образования [3, 4], то было бы целесообразно проанализировать изменение концентрации аэрозоля, введя дополнительный географический признак.

Как видно из рис. 2, введение географического признака для холодных фронтов не изменило в целом временную динамику аэрозоля при их прохождении через пункт измерения, по сравнению с объединенной картиной (см. рис. 1). Имеются лишь небольшие различия между холодными арктическим и полярным фронтами в амплитуде изменений концентрации и времени наступления минимума в предфронтальной области. Поэтому можно констатировать, что динамика аэрозоля в холодных фронтах не зависит от их географического типа.

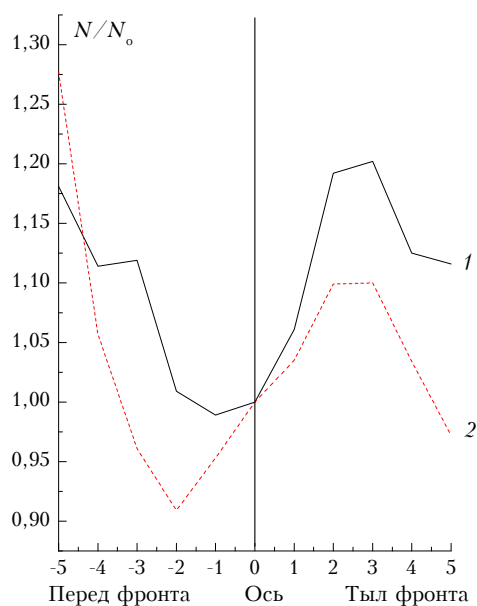


Рис. 2. Изменение счетной концентрации аэрозоля ($d \geq 0,4$ мкм) при прохождении через г. Томск холодных фронтов: 1 – арктического; 2 – полярного

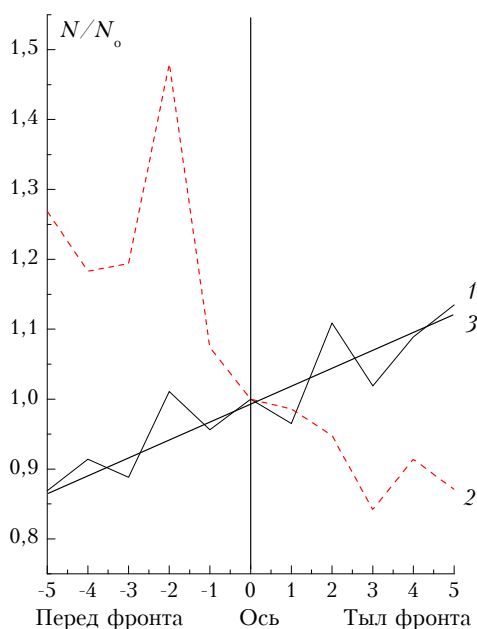


Рис. 3. Изменение счетной концентрации аэрозоля ($d \geq 0,4$ мкм) при прохождении через г. Томск теплых фронтов: 1 – арктического, 2 – полярного, 3 – полярного после сглаживания

Этого нельзя сказать о теплых фронтах. Из рис. 3 следует, что если в теплом полярном фронте повторяется ход аэрозоля, который наблюдался на рис. 1 для независимой от географического разделения выборки, то арктический теплый фронт дал совершенно иной от этой выборки ход. При этом следует отметить, что из общей статистики теплых фронтов (95 случаев) на арктический приходится 63, а на полярный – 32; пики на кривой 1 незначимы даже по уровню вероятности 95% и их можно сгладить. Полученная после сглаживания кривая 3 отражает лишь наличие градиента аэрозоля между арктической и умеренной воздушными массами, что не является новым фактом [7]. Возможно, что такой ход изменения аэрозоля в теплых арктических фронтах обусловлен слабой их выраженностью в метеовеличинах, на что указывалось в [8]. Тем более что данные о ветровом режиме, полученные на ТОР-станции в последние годы [9], свидетельствуют о том, что динамическая компонента атмосферы в районе Томска уменьшилась по сравнению с периодом, для которого выполнялась работа [8], и в целом по сравнению с климатическими данными для г. Томска [10].

Не будем приводить в настоящей статье сведения о географическом подразделении фронтов окклюзии, так как статистика по каждому из них невелика. Отметим только, что в силу сложности самого явления фронтов окклюзии характер изменения аэрозоля в них весьма сложен и для надежной интерпретации требует дополнительного набора данных, чем мы сейчас и занимаемся.

В районе г. Томска достаточно часто проходят фронты, которые не относятся к основным: приземные холодные в тылу стационарирующих центральных циклонов и верхние теплые в антициклонах [8]. Такие фронты, как правило, слабо выражены в контрастах метеовеличин и явлений [3, 4]. Поэтому было интересно выявить, будут ли они оказывать влияние на поле аэрозоля в приземном воздухе. Данные об изменении концентрации аэрозоля в этих фронтах представлены на рис. 4.

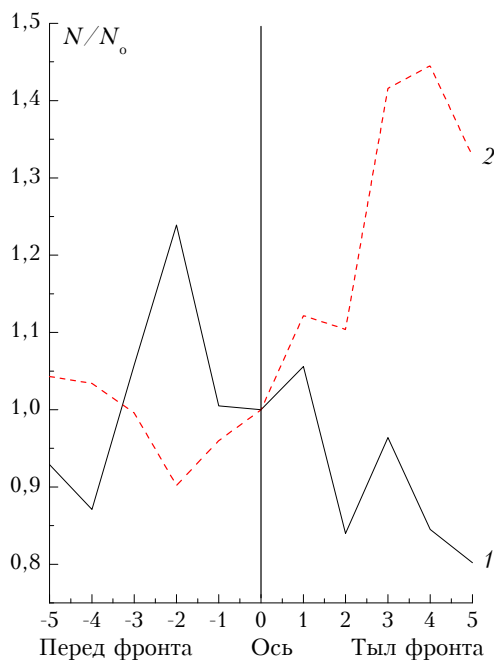


Рис. 4. Изменение счетной концентрации аэрозоля ($d \geq 0,4$ мкм) при прохождении через г. Томск верхних теплых фронтов – 1 и приземных холодных – 2

Из рис. 4 видно, что оба фронта оказывают воздействие на поле аэрозоля и в целом сохраняют тенденции, которые выделены для холодных и теплых фронтов. Вместе с тем поскольку приземный холодный фронт обычно характеризуется меньшим количеством осадков [3, 4], в его предфронтальной области эффект вымывания аэрозоля менее выражен. Зато постфронтальное увеличение концентрации значительно выше, что, очевидно, отражает тот факт, что с менее увлажненной поверхности может быть поднято больше вторичного аэрозоля. От комментариев различия в теплых фронтах пока воздержимся, так как в выборку попало всего 14 верхних фронтов. Зафиксируем только на будущее факт их воздействия на приземный аэрозоль для дальнейшего анализа на большем количестве случаев.

Неоднозначно ведут себя различные фракции аэрозоля при прохождении атмосферных фронтов (рис. 5). Так, субмикронная фракция ($d = 0,4 - 0,5$ мкм) в целом повторяет изменение суммарной счетной концентрации, выявленное выше. Это закономерно, так как она вносит основной вклад в суммарную концентрацию. Частицы диаметром $d = 0,9 - 1,0$ мкм, которые находятся на границе двух фракций – субмикронной и среднедисперсной и обычно имеют нейтральный ход [5], повторяют ход суммарной концентрации, однако с большей амплитудой. Среднедисперсная ($d = 1,5 - 2,0$ мкм), сохраняя общие тенденции, тем не менее выявляет некоторые отличия. Для нее характерно увеличение амплитуды изменений концентрации при прохождении холодных фронтов и появление вторичного максимума на расстоянии 120–180 км от линии фронта в его передней части, там где обычно наблюдаются осадки и интенсивное вымывание суммарной концентрации аэрозоля. Этот максимум становится основным для грубодисперсной фракции ($d = 2 - 4$ км). При этом его амплитуда достигает почти 14 раз, в отличие от всех остальных, увеличивающихся всего лишь на десятки процентов. Возможно, что это мелкодисперсная фракция осадков, которая может достигать в дождях 10% от общего числа выпадающих капель [11]. Однако, как и ряд предыдущих, это предположение нуждается в экспериментальной проверке.

В литературе нам не удалось обнаружить столь детального исследования по динамике аэрозоля в атмосферных фронтах, хотя в отдельных работах эта тема затрагивалась и отмечалось значительное возмущение полей аэрозоля при прохождении фронтов. Сравнение же с динамикой озона в зоне фронтов, исследованное ранее по такой же методике [12], показывает, что изменение концентрации озона в приземном слое для большинства фронтов имеет прямо противоположный характер за исключением арктических теплых фронтов. Учитывая, что аэрозоль в ряде случаев является стоком для озона, возможно, что эти различия закономерны.

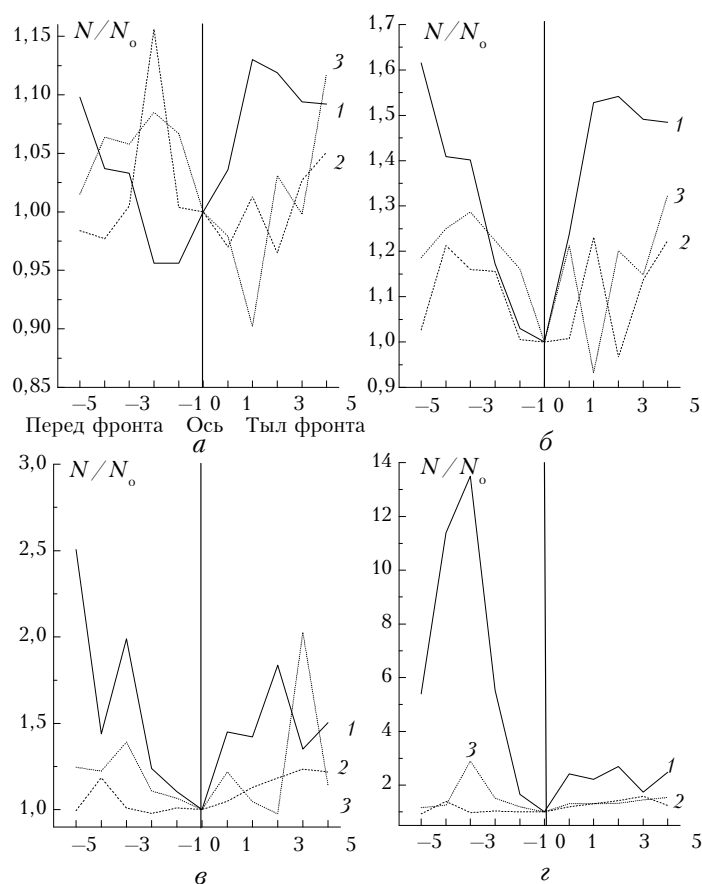


Рис. 5. Изменение дисперсного состава аэрозоля при прохождении фронтов через г. Томск: 1 – холодного, 2 – теплового, 3 – окклюзии; а – $d = 0,4 - 0,5$ мкм, б – $d = 0,9 - 1,0$ мкм, в – $d = 1,5 - 2,0$ мкм, г – $d = 2 - 4$ мкм

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ по гранту 96-05-64332.

1. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Задде Г.О. Оптическая погода. Новосибирск: Наука, 1990. 192 с.
2. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Зуев В.В. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 8. С. 1085–1092.
3. Хромов С.П. Основы синоптической метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1948. 700 с.
4. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 616 с.
5. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Ковалевский В.К., Толмачев Г.Н. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 8. С. 1185–1190.
6. Белан Б.Д., Толмачев Г.Н. // Там же. 1996. Т. 9. N 1. С. 99–105.
7. Белан Б.Д., Задде Г.О. Спектральная прозрачность и аэрозольное ослабление над территорией СССР. Томск: изд-е ТФ СО АН СССР, 1987. 180 с.
8. Бордовская Л.И. // Материалы научной конференции «Проблемы гляциологии Алтая». Томск, Изд-во ТГУ, 1974. С. 95–117.
9. Аршинова В.Г., Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 5. С. 732–740.
10. Климат Томска / Под ред. Ц.А. Швер. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 176 с.
11. Облака и облачная атмосфера / Под ред. И.П. Мазина и А.Х. Хргиана. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 648 с.
12. Аршинова В.Г., Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 4. С. 625–631.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск
Томский госуниверситет

Поступила в редакцию
30 декабря 1996 г.

V.G. Arshinova, B.D. Belan, E.V. Vorontsova, G.O. Zadde,
T.M. Rasskazchikova, O.I. Semyanova, T.K. Sklyadneva. **Aerosol Dynamics due to Atmospheric Fronts Passage.**

The variation of aerosol disperse composition in Tomsk region due to atmospheric fronts passage is analyzed from the measurements obtained in 1993–1994. The increase of the aerosol concentration within the front zone was found to have an intricate form with maxima and minima rather than a form of steep edge. The shape of the curve of the aerosol concentration change therewith depends on the front passage direction (cold or warm) and on its geographic type (arctic or intertropical).