

В.Г. Аршинова, Б.Д. Белан, Т.М. Рассказчикова, А.Н. Рогов, Г.Н. Толмачев

ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОЗОНА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ АТМОСФЕРНЫХ ФРОНТОВ

Рассматривается динамика концентрации озона в приземном слое воздуха в районе г. Томска в атмосферных фронтах. Показано, что атмосферные фронты существенно воздействуют на поле озона. Причем это воздействие коренным образом зависит от типа фронта и направления его перемещения.

Интенсивное исследование атмосферного озона в последние десятилетия позволило изучить многие аспекты его пространственно-временной изменчивости, которые подробно обобщены в монографии А.Х. Хргиана [1]. Однако нужно отметить, что степень изученности поведения озона в атмосфере различна для разных высотных уровней. В настоящее время сведений о динамике стратосферного озона и его общего содержания больше, чем данных о вариациях озона в приземном слое. С учетом того факта, что озон в больших количествах в приземном слое является весьма нежелательной примесью, проведение его исследований в этом слое представляется по-прежнему актуальным. Настоящая работа посвящена изучению динамики приземного озона в районе г. Томска.

Регулярные измерения концентрации озона в приземном слое воздуха в Томске начались с 1989 г. Они были организованы на станции высотного зондирования ИОА СО РАН, расположенной на северо-восточной периферии Томского академгородка, который, в свою очередь, расположен восточнее города, так что при западном переносе оказывается под влиянием последнего.

В качестве измерительного средства использовался переносной хемилюминесцентный газоанализатор типа 3-02П, разработанный и изготовленный в лаборатории ЛЭК (г. Санкт-Петербург). Газоанализатор позволяет измерять концентрацию озона в диапазоне 1–1000 мкг/м³ с погрешностью 15%. В приборе имеется встроенный калибратор (по уровню 18,5 мкг/м³), что обеспечивает возможность периодической его поверки. Забор воздуха в прибор осуществляется через тефлоновую трубку с высоты 6 м.

Измерения озона проводились круглосуточно. До декабря 1992 г. регистрация сигналов проводилась с помощью самописца. Отсчеты с ленты брались с временным шагом 10 мин и последующим осреднением за каждый час. Прибор калибровался дважды в сутки: утром и вечером. С декабря 1992 г. озонометр был подключен к ЭВМ. При этом несколько изменился характер отсчетов. Регистрация по-прежнему производилась через 1 ч, но измерения продолжались в течение 10 мин с частотой отсчетов 1 Гц. По 600 полученным отсчетам находилась средняя концентрация озона и рассчитывалось среднеквадратическое отклонение. Последнее позволяло проводить оценку стабильности работы прибора.

Накопленный материал позволил нам не только оценить климатическую изменчивость озона в районе г. Томска [3], но и проанализировать его вариации в некоторых синоптических ситуациях, в частности при прохождении атмосферных фронтов.

Следует отметить, что исследования озона в зоне атмосферных фронтов проводились и ранее (см., например, [1, 2, 4]). Однако, как правило, они охватывали небольшое количество ситуаций и не давали достаточно полной картины, так как опирались в основном на данные об общем содержании озона.

В настоящем исследовании использовались только сведения о приземном озоне, полученные с помощью вышеописанной методики. В связи с тем что данные получались только в одной точке и концентрация озона имеет годовой и суточный ход, при обработке применялась следующая процедура. Для каждого случая прохождения атмосферного фронта через точку наблюдений выбиралось 11 ежечасных значений концентрации озона: пять до линии фронта,

пять после и одна на линии фронта. Для исключения годового и частично суточного хода концентрации все 11 значений нормировались на ее значение, соответствующее линии фронта. Таким образом, все приводимые ниже данные будут представлены в относительных единицах.

За период с 1989 по 1993 г. через Томск прошло 372 фронта, которые по их типам и подтипам разделились следующим образом [5, 6]: холодные: арктические – 87, полярные – 38, тропические – 1; теплые: арктические – 74, полярные – 26; окклюзии: арктические – 11, полярные – 56, тропические – 5; приземные холодные – 49; верхние теплые – 25.

Вначале дадим качественную картину изменения концентрации озона при прохождении атмосферных фронтов, для чего обратимся к данным таблицы.

Из таблицы следует, что атмосферные фронты активно воздействуют на поле приземного озона при их прохождении. Так, если рассматривать все случаи появления фронтов, независимо от их типа, то можно отметить, что в 49% они вызывают увеличение концентрации озона, в 40% – уменьшение и лишь в 11% концентрация озона остается неизменной. В зависимости от типа и направления движения фронта это соотношение может изменяться.

Холодные фронты характерны тем, что при их перемещении через точку наблюдений в 70% случаев происходит уменьшение концентрации озона, в 24% – увеличение и только в 6% случаев концентрация не изменяется.

Повторяемость изменения концентрации приземного озона при прохождении атмосферных фронтов

Тип фронта	Падение, %	Рост, %	Без изменения, %
Независимо от типа	49	40	11
Холодный	70	24	6
Теплый	43	53	4
Окклюзии	35	48	17
Приземный холодный	47	37	16
Верхний теплый	12	56	32

Теплые фронты оставляют поле приземного озона неизменным только в 4% случаев. Характер изменения концентрации при их прохождении (по сравнению с холодными фронтами) – обратный (43% – падение, 53% – рост), но не столь четко выраженный.

Фронты окклюзии обнаруживают ту же тенденцию, что и теплые. Однако у них относительно высока повторяемость случаев, когда концентрация приземного озона не изменяется.

Приземный холодный фронт, который обычно образуется внутри одной и той же воздушной массы [5, 6], подобно холодному основному, дает в 47% случаев уменьшение концентрации озона и в 37% – увеличение. Вместе с тем при его прохождении в 16% случаев содержание озона в приземном слое воздуха не изменяется.

Прохождение теплого верхнего фронта через район г. Томска, с одной стороны, дает почти однозначный эффект: в 56% случаев наблюдается рост концентрации озона и лишь в 12% – падение. С другой стороны, при такой ситуации в 32% случаев (наибольшая повторяемость среди рассмотренных типов фронтов) поле озона не изменяется.

Данные таблицы вряд ли можно объяснить оттоком и притоком озона из вышележащих слоев за счет восходящих и нисходящих вертикальных движений, развивающихся вдоль поверхности скольжения ана- и катафронтов [5, 6], так как результаты вертикального зондирования озона, полученные с помощью самолета-лаборатории в фоновых и загрязненных районах [7–9], показывают, что перераспределение озона если и происходит, то только в пределах слоя перемешивания. Над слоем перемешивания концентрация озона обычно значительно ниже.

Перейдем к анализу характера изменения концентрации озона при прохождении атмосферных фронтов, изображенного на рис. 1. Здесь цифры у наименования фронтов обозначают число случаев, вошедших в обработку.

Из рис. 1, а видно, что при прохождении холодного фронта концентрация озона убывает особенно сильно в 100-км зоне перед и после линии фронта. Переход к пространству сделан, исходя из известного факта, что средняя скорость его перемещения составляет 40–60 км/ч [5,6]. Таким образом, основные градиенты приземного озона локализованы вблизи линии фронта. Насколько средняя картина соответствует конкретной ситуации, можно судить из рис. 1, е, на котором приведен пример прохождения холодного арктического фронта 2 октября 1991 г. Изменение концентрации озона дано в абсолютных единицах.

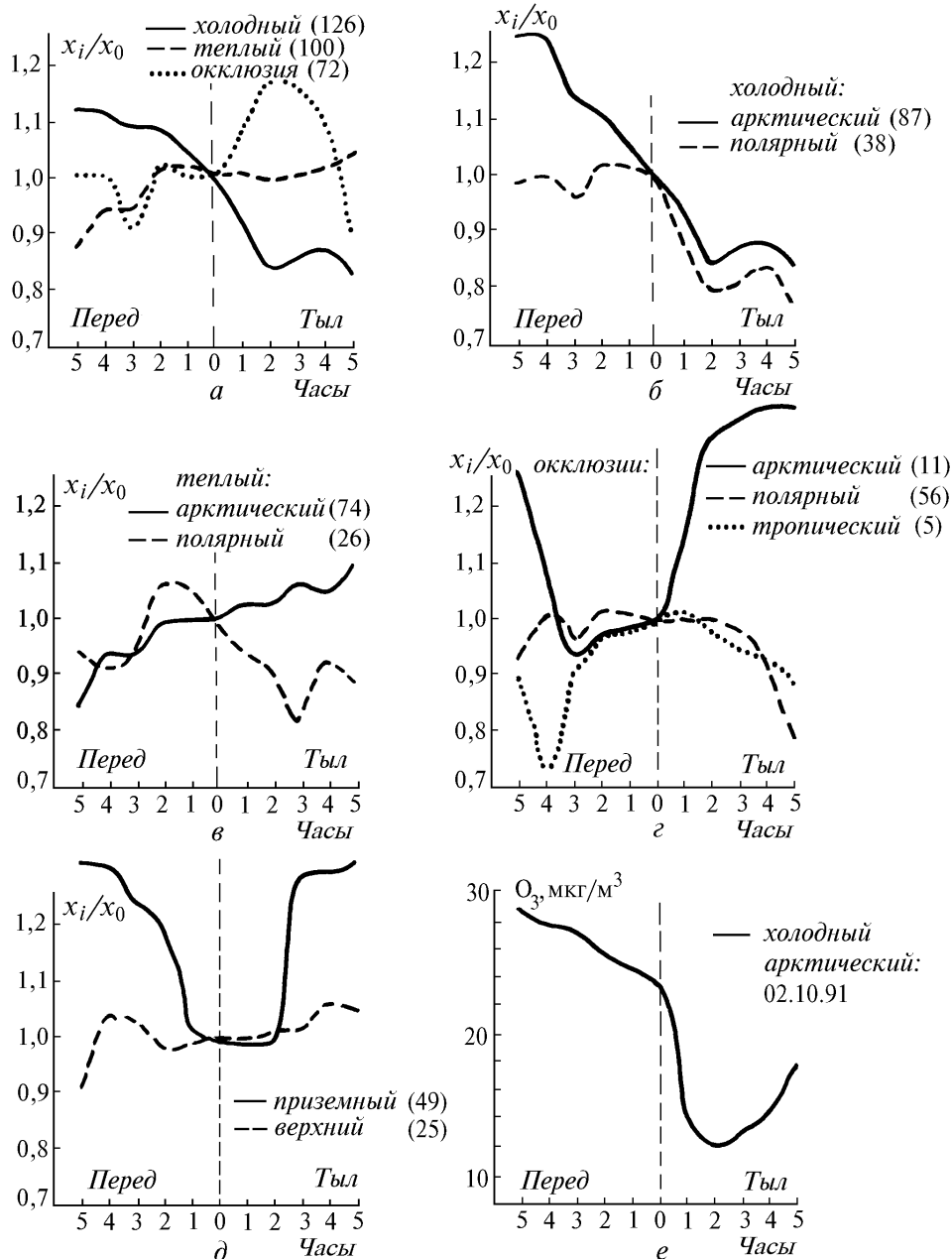


Рис. 1. Изменение концентрации озона (относительные единицы) в разных типах фронтов

В случае прохождения теплого фронта концентрация озона начинает возрастать в предфронтальной зоне (рис. 1, а). На расстоянии 100 км перед линией фронта увеличение прекращается, и концентрация озона почти не изменяется на его линии и в тыловой части.

Более сложным оказывается ход концентрации озона при образовании фронта окклюзии (рис. 1, а). Напомним, что в этом случае взаимодействуют между собой не две, а три воздушные массы [5, 6]. В целом характер изменения концентрации озона в этом типе фронтов противоположен тому, который наблюдается в холодных. В то же время ход концентрации немонокотонен. Можно выделить четкие минимум в предфронтальной зоне и максимум в тыловой зоне фронта.

В зависимости от географического типа фронта отмеченные выше закономерности несколько видоизменяются.

Так, в холодных фронтах выделенное на рис. 1, а изменение концентрации озона сохраняется в арктическом типе (рис. 1, б). При прохождении холодных полярных фронтов изменение

концентраций озона в предфронтальной области почти не наблюдается, а ее резкое падение начинается сразу же за линией фронтов.

В теплых арктических фронтах ход изменения концентрации озона прямо противоположен тому, который наблюдается в арктических холодных фронтах (рис. 1, б). В теплом полярном фронте картина близка к холодному полярному (рис. 1, в), что несколько неожиданно. Отличие заключается в наличии максимума концентрации в предфронтальной 100-км зоне.

Весьма существенны различия между изменениями концентрации озона при прохождении через г. Томск фронтов окклюзии (рис. 1, з), причем они зависят от типа окклюзии фронта. Так, для арктического фронта окклюзии характерно резкое уменьшение концентрации в предфронтальной полосе шириной 150 км и резкое ее возрастание за линией фронта. Фронт окклюзии полярного типа почти не вызывает изменения содержания озона при своем движении, хотя можно отметить убывание концентрации озона в его тыловой части. По тропическому фронту окклюзии статистика невелика. Он как бы объединяет действие двух предыдущих типов фронтов. С одной стороны, уменьшение концентрации озона в предфронтальной зоне, с другой – нейтральный ход на линии фронта и падение в тыловой части.

И наконец, на рис. 1, д приведены результаты обработки для неосновных фронтов. Из рисунка видно, что приземный холодный фронт хотя и оказывает значительное по амплитуде воздействие на поле приземного озона, но по пространственному масштабу это воздействие невелико и ограничивается 150-км полосой около линии фронта. Что касается изменения концентрации озона при прохождении верхнего теплого фронта, то оно незначительно. Можно отметить небольшую тенденцию увеличения концентрации от предфронтальной к тыловой части фронта. Последнее, на наш взгляд, еще раз подчеркивает, что в зоне атмосферных фронтов динамика концентрации озона в приземном слое обусловлена не притоком и оттоком его из вышележащих слоев, а другими причинами.

Проиллюстрируем это на рис. 2, где приведены результаты самолетного зондирования вертикального распределения озона в районе г. Хабаровска в период прохождения фронта. Измерения выполнялись с помощью прибора 3-02П, аналогичного тому, который применяется и в наземных измерениях.

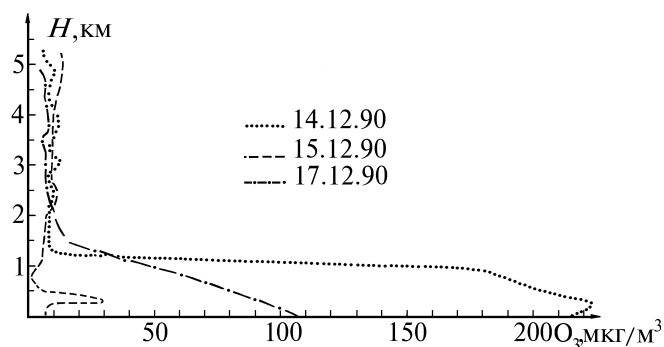


Рис. 2. Вертикальные профили концентрации озона в г. Хабаровске

Из рис. 2 видно, что 14 декабря 1990 г. профиль озона характеризовался очень высоким его содержанием в пограничном и приземном слоях. В первой половине дня 15 декабря через район измерений прошел холодный арктический фронт, сопровождавшийся осадками в виде снега. Зондирование, выполненное во вторую половину дня, показало, что концентрация озона в свободной атмосфере практически не изменилась, а в пограничном и приземном слоях упала до фоновых значений. Небольшой максимум, наблюдающийся на высоте 300 м, свидетельствует о начале генерации озона. Вертикальный профиль озона от 17 декабря 1990 г. говорит о том, что генерация озона в пограничном и приземном слоях идет быстро, в результате чего концентрация озона за двое суток восстановилась почти на половину первоначальной. Связи между изменением содержания озона в пограничном слое и свободной атмосфере по данным рис. 2 не просматривается.

В настоящей статье не дается полная интерпретация полученных данных из-за того, что они не укладываются ни в одну из известных схем. По-видимому, при прохождении атмосферных фронтов приземное поле озона изменяется в результате суперпозиции ряда факторов. Это могут быть различия в динамике самих атмосферных фронтов; предыстория воздушных

масс, поступающих в район измерений с разной концентрацией озона в них; воздействие в ряде случаев выбросов г. Томска, расположенного западнее пункта наблюдений; разброс метеовеличин в одном и том же типе фронтов.

1. Хргиан А.Х. Физика атмосферного озона. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 292 с.
2. Перов С.П., Хргиан А.Х. Современные проблемы атмосферного озона. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 288 с.
3. Белан Б.Д., Колесников Л.А., Лукьянов О.Ю. и др. //Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. № 6. С. 635–638.
4. Харчилава Д.Ф., Амирашвили А.Г. Исследование вариаций атмосферного озона в Грузии. М.: Наука, 1988. 114 с.
5. Хромов С.П. Основы синоптической метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1948. 700 с.
6. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 616 с.
7. Белан Б.Д., Вавер В.И., Ковалевский В.К. и др. //Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. № 5. С. 559–592.
8. Белан Б.Д. //Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. № 2. С. 205–222.
9. Белан Б.Д., Микущев М.К., Панченко М.В. и др. //Оптика атмосферы. 1991. Т. 4. № 9. С. 995–1005.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
21 апреля 1994 г.

V.G. Arshinova, B.D. Belan, T.M. Rasskazchikova, A.N. Rogov,
G.N. Tolmachev. **Variation of the Ozone Concentration in the Ground Atmospheric Layer during the Events of Atmospheric Fronts Passage.**

In this paper we analyze the dynamic of the ozone concentration in the ground atmospheric layer in Tomsk during the events of atmospheric fronts passage. It is shown that atmospheric fronts essentially effect the ozone field. Moreover, this effect strongly depends on the front type and direction of its motion.