

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ВАРИАЦИИ ОЗОНА В АТМОСФЕРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ И НАЗЕМНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ В РАЙОНЕ г. УЛАН-УДЭ

© 2012 г. В. П. Бутуханов*, Ю. Л. Ломухин

Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ

E-mail: lom@pres.bscnet.ru

Поступила в редакцию 14.02.2012 г.

В работе представлены результаты анализа взаимосвязи общего содержания озона (ОСО) и приземной концентрации озона (ПКО) по многолетним наблюдениям в атмосфере г. Улан-Удэ, полученных с прибора EP TOMS и наземного автоматизированного измерительного комплекса газовых примесей. Изложены особенности сезонно-суточных и межгодовых вариаций. Обсуждается связь ОСО с концентрацией озона в зимней стратосфере в период прохождения полярного вихря.

Ключевые слова: приземная концентрация озона, общее содержание озона, сезонные, суточные и межгодовые вариации, антициклоническая и циклоническая циркуляции, стратосферно-тропосферный обмен (СТО), циркумполярный вихрь

ВВЕДЕНИЕ

Пространственное и временное распределение приземного озона в значительной степени определяется местными природно-климатическими условиями. Кроме этого, к фактору крупномасштабного влияния на изменчивость приземного озона можно отнести общее содержание озона (ОСО), солнечную активность и характеристики общей циркуляции атмосферы (Звягинцев, Крученицкий, 1999).

Характерным для климата исследуемого района является высокая повторяемость континентального воздуха умеренных широт (90%) и большое количество солнечных дней – 2472 ч в год. На климат г. Улан-Удэ в некоторой степени влияет близость водной поверхности оз. Байкал, которая сказывается на характере распределения облачности. В среднем за год антициклоническая циркуляция характерна для 53%, а циклоническая – для 47% общего числа дней.

СЕЗОННЫЕ И СУТОЧНЫЕ ВАРИАЦИИ ПКО

В работе приведены результаты многолетних рядов наблюдений приземной концентрации озона (ПКО) в атмосфере г. Улан-Удэ за период с 1999 по 2004 г. Аппаратура и методика измерений ПКО подробно описаны в работе (Бутуханов, Ломухин, 2008).

Для оценки озонных связей использовались данные ОСО, полученные в результате спутникового зондирования аппаратурой TOMS для координат г. Улан-Удэ (51°50'N, 107°30'E) и представ-

ленные в Интернете (ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/eptoms/data/monthly_averages/ozone).

На рис. 1 показаны сезонно-суточные вариации ПКО. Из рисунка видно, что главный максимум ПКО устанавливается в местный полдень. Характер внутрисуточной изменчивости близок к фоновым условиям.

Сезонные максимальные и минимальные значения ПКО в основном обусловлены синоптическими (частыми вторжениями арктических воздушных масс) и локальными (температурные инверсии, фотохимические процессы) процессами (Бутуханов и др., 2005).

Рисунок 2 иллюстрирует вариации приземного давления и ПКО в период весенней активизации синоптических процессов. Приход антициклона, связанный с усилением меридиональной циркуляции воздушных масс, приводит к резкому увеличению приземного давления и ПКО. С приходом циклональных воздушных масс наблюдаются значительное понижение атмосферного давления и уменьшение ПКО. Можно предположить, что вариации ПКО тесно связаны с вариациями приземного давления.

СВЯЗЬ ПКО С ОБЩИМ СОДЕРЖАНИЕМ ОЗОНА

*Особенности межгодовой изменчивости
ПКО и ОСО*

Для анализа межгодовой изменчивости приземного озона и ОСО из их ежедневных рядов методом наложения эпох были выделены среднемесячные значения ПКО и ОСО за весь период на-

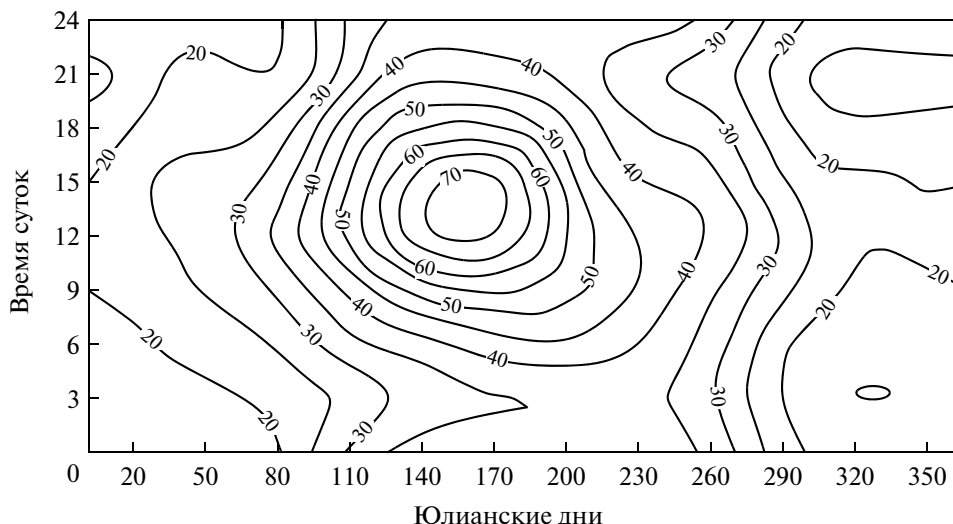


Рис. 1. Сезонно-суточная изменчивость ПКО в г. Улан-Удэ, мкг/м³.

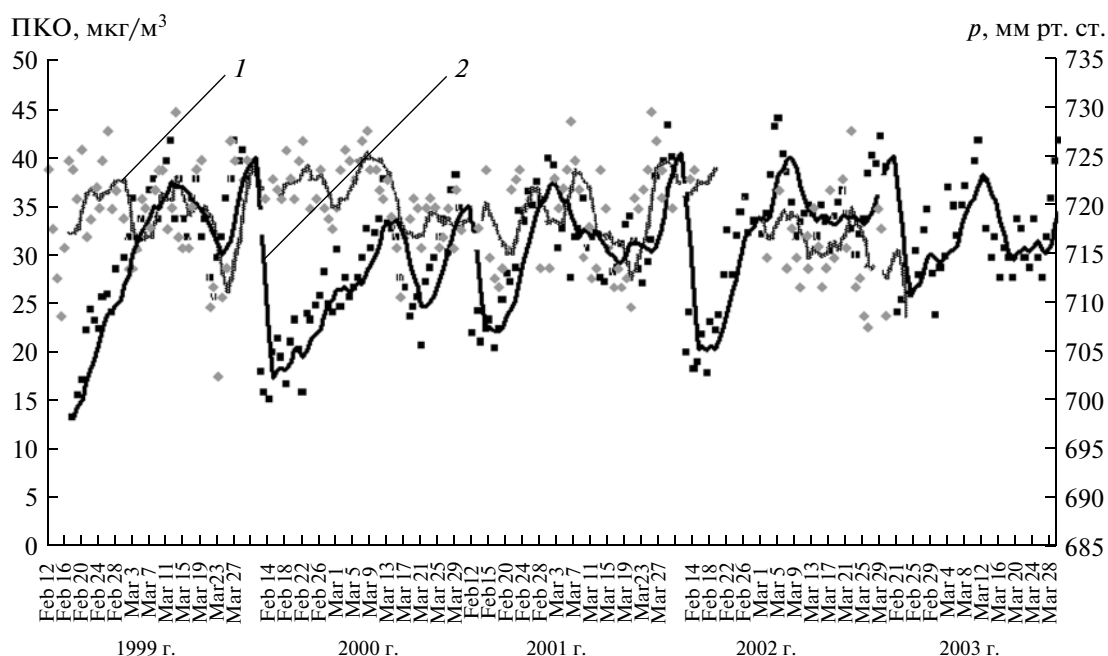


Рис. 2. Вариации приземного давления (1), ПКО (2) в условиях весенней активизации синоптических процессов (циклонов и антициклонов).

блюдения, см. рис. 3. Из данного рисунка видно значимое влияние ОСО на изменения максимальных и минимальных ПКО в городском воздухе. Из рис. 3 следует также, что максимальные и минимальные значения ПКО в среднем отстают от аналогичных значений ОСО на 3 мес. Обнаруженное поведение ПКО и ОСО, вероятнее всего, связано с переносом озона из верхних слоев атмосферы в нижние во время зимне-весенней перестройки общей циркуляции атмосферы.

Аналогичный механизм поступления озона в приземный слой атмосферы обсуждается в работе (Потемкин, Шульгайтс, 2005).

Из рис. 3 можно выделить явный весенний максимум ОСО в 1999 г., на аналогичный максимум указано в работе (Вергасова и др., 2005) для широты г. Иркутска, и этот максимум вызван усилением атмосферной циркуляции, имеющей квазидвухлетний цикл.

Следует особо отметить распределение ПКО и ОСО в условиях аномально холодной зимы 1999–

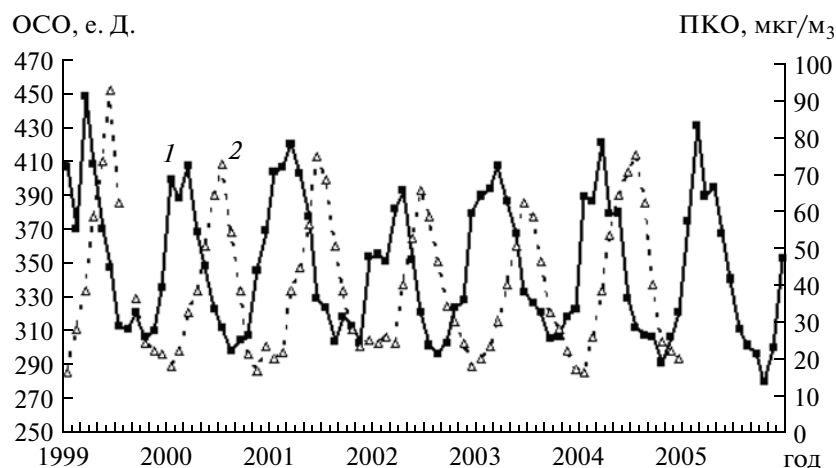


Рис. 3. Межгодовая изменчивость общего содержания озона и приземной концентрации озона за период наблюдения 1999–2004 гг. Сплошной линией 1 обозначены вариации ОСО в ед. Добсона, штриховой линией 2 – ПКО в мкг/м³.

2000 г. Появление второго максимума ОСО в январе 2000 г. (рис. 3), видимо, является основным признаком частых вторжений в пункт наблюдения арктических воздушных масс, относительно богатых озоном. В марте значение основного максимума ОСО было значительно ниже, чем в предыдущий год. Это, очевидно, связано с тем, что в условиях продолжительного антициклонального типа погоды стратосферно-тропосферный обмен воздушных масс был ослаблен. Указанные процессы повлияли на величину и временное распределение максимума ПКО, наступление которого в 2000 г. произошло с запаздыванием на один месяц относительно 1999 г.

В теплую зиму 2002 г. территория Восточной Сибири и Монголии чаще оказывалась под меньшим влиянием арктических ВМ и под большим влиянием теплых вторжений с южных широт, поэтому наблюдались относительно низкие значения максимумов ОСО и ПКО, причем максимум ОСО смещен на позднюю весну (апрель) (рис. 3).

Максимальному значению ОСО в марте 2004 г. соответствовали значительные вариации приземного давления от 703 до 721 мм рт. ст. во второй половине месяца при преобладающем северо-западном ветре. С усилением скорости ветра до 10 м/с происходил активный вынос арктических ВМ в пункт наблюдения, при этом среднесуточная приземная температура воздуха понижалась до -14°C .

Указанные процессы явились причиной заметного увеличения максимального ОСО относительно предыдущих двух зимних теплых годов. Одновременно наблюдались относительно высокие концентрации приземного озона, по сравнению с предыдущими годами соизмеримые только с ПКО 1999 г.

При анализе среднеквадратических отклонений ПКО и ОСО в весенний период (март) за все годы наблюдения в атмосфере Улан-Удэ установлено, что в марте, за период с 2001 по 2004 гг., вариации ПКО синхронно следуют вариациям ОСО с квазипериодом максимальных значений в два года, см. рис. 4. Обнаруженные связи между ПКО и ОСО являются проявлением усиления воздухообмена между верхними слоями атмосферы и приземным слоем в весенний период.

Вариации ПКО и ОСО в зимней атмосфере

Особый интерес представляют средние дневные значения ПКО и ОСО, измеренные в зимние месяцы, когда наблюдались пониженные температуры при усилении активности синоптических процессов, см. рис. 5. Интересно отметить, что в условиях полярной стратосферы в указанные периоды времени обнаружено продолжительное и стабильное существование циркумполярного вихря, внутри которого наблюдаются пониженные значения плотности озона (Рыскин и др., 2005).

Из рис. 5 видно, что вариации средних дневных значений ОСО и ПКО во временном интервале с 12.02. по 30.03. для каждого года и их межгодовая изменчивость отличаются существенной неоднородностью и представляют собой квазипериодические колебания. Главной особенностью вариаций ОСО и ПКО является многомодальный характер колебаний в отдельные периоды наблюдения. Наибольшие амплитуды колебаний ОСО и ПКО отмечены в марте 1999, 2001 и 2002 г. Относительно низкие значения ОСО и ПКО наблюдались в 2000 г. Характерной особенностью 2003 г. явились невысокие амплитуды вариаций ОСО в условиях перехода от зимы к весне, и лишь к середине марта они становятся значимыми.

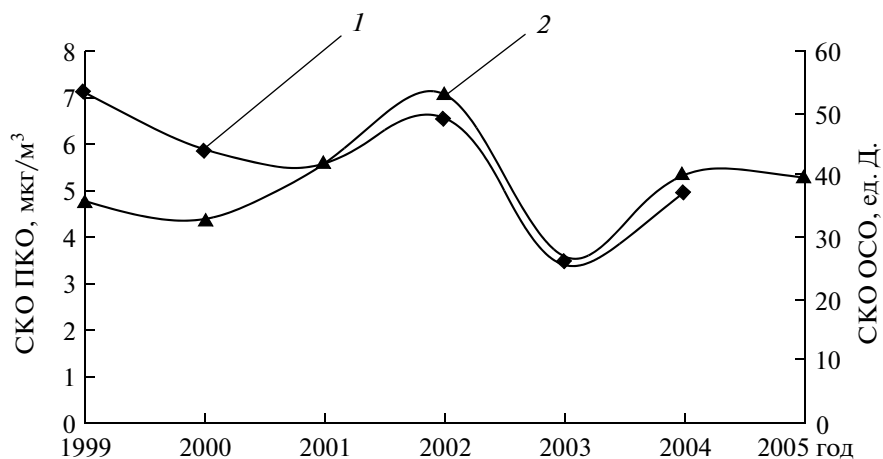


Рис. 4. Среднеквадратические отклонения ПКО – 1 и общего содержания озона – 2.

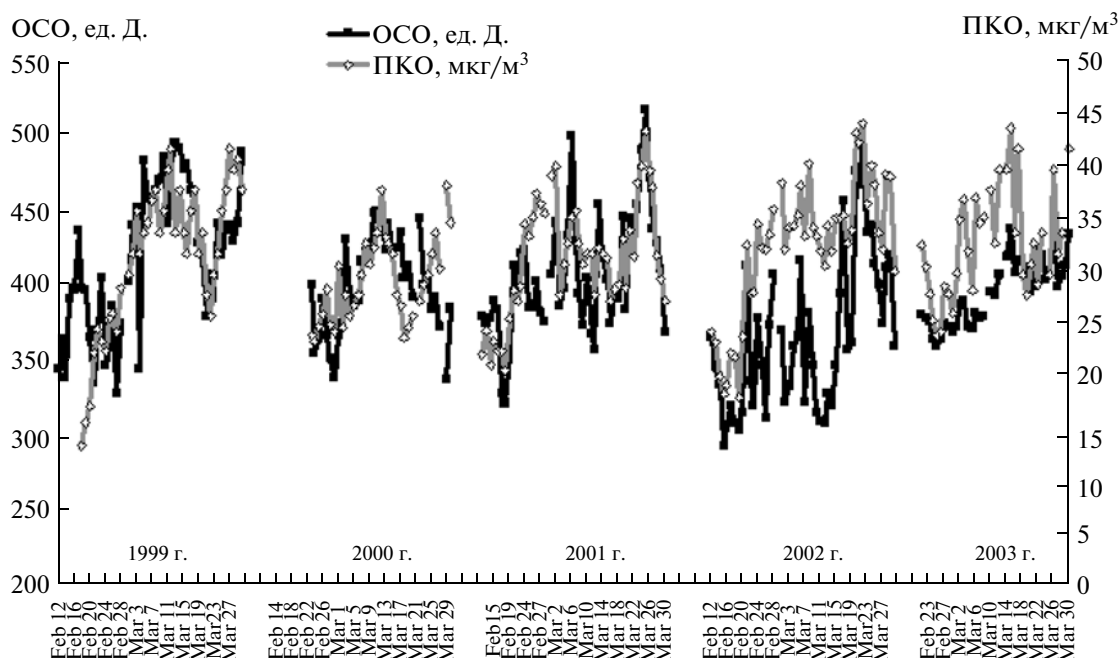


Рис. 5. Вариации ОСО и ПКО в зимне-весенний период в атмосфере г. Улан-Удэ.

Вариации ОСО в зимней стратосфере

В широтном поясе 52° с.ш.–68° с.ш. часто наблюдаются значительные согласованные вариации ОСО и концентрации озона на высоте 40 км, обусловленные зональной волновой структурой стратосферного полярного вихря и его эволюцией (рис. 6). Они могут охватывать значительные региональные масштабы в интервале времени от нескольких дней до месяца.

В сезоне 2003–2004 гг. в стратосфере Арктики наблюдался слабый неустойчивый вихрь, центр которого часто смещался из районов Кольского

п-ова и Северной Скандинавии к востоку (Куликов и др., 2007). В таких условиях наблюдаются вторжение в полярные широты воздуха с более высоким содержанием озона из умеренных широт и активное перемешивание воздушных масс. Большие градиенты концентрации озона в области вихря в направлении периферии вихря вызывают значительную изменчивость ОСО в точке наблюдения г. Улан-Удэ при эволюции вихря в средних широтах (рис. 6). Коэффициент корреляции вариаций концентрации озона на высоте 40 км на ст. Кируна (Северная Скандинавия) и ОСО в пункте наблюдения г. Улан-Удэ $R = 0.575 \pm 0.124$.

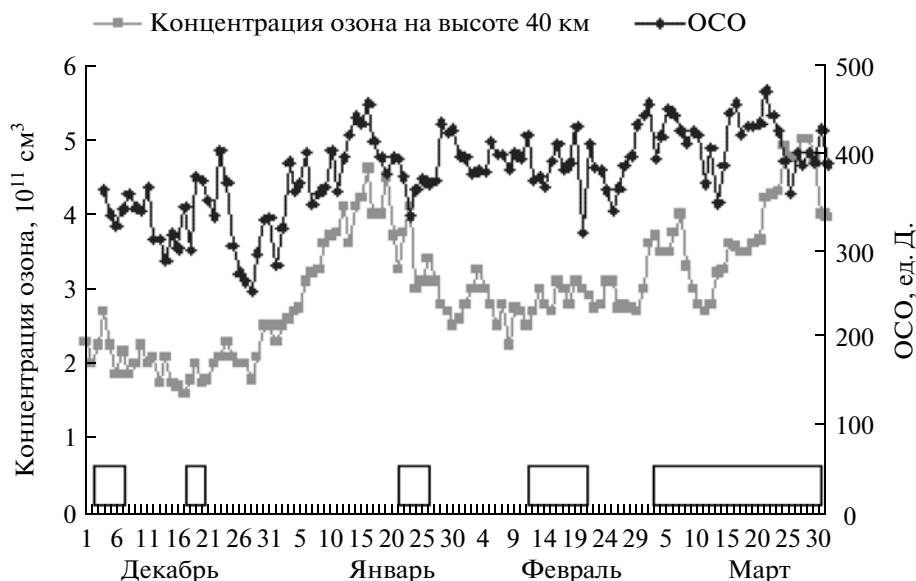


Рис. 6. Вариации концентрации озона на высоте 40 км (ст. Кируна, 68° с.ш., 20° в.д.) и общего содержания озона (Улан-Удэ, 51°50' с.ш., 107°30' в.д.) зимой 2003–2004 гг. Прямоугольниками на оси абсцисс отмечены периоды времени, когда пункт наблюдения находился вне границ полярного вихря или на его краю.

Сезонный рост ОСО в пункте наблюдения определяется временем разрушения стратосферного вихря во время весенней перестройки циркуляции.

Такому механизму приходится только удивляться, — какую большую площадь может занимать циркумполярный вихрь, и с какой удивительной стабильностью он может распространяться на такие огромные расстояния вглубь азиатского континента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдения приземного озона в условиях резко континентального климата г. Улан-Удэ позволили произвести оценку сезонно-суточных вариаций ПКО. Внутрисуточная изменчивость приземного озона близка к фоновой. В зимне-весенний период максимальные и минимальные вариации ОСО и ПКО обусловлены крупномасштабными и синоптическими процессами. Приход арктических воздушных масс в пункт наблюдения при антициклонах приводит к увеличению озона, вынос теплого воздуха с южных широт уменьшает количество озона. В весенний период активизация динамических процессов в стратосфере, имеющих квазидвухлетний цикл, приводит к интенсивному стратосферно-тропосферному обмену и вносит ощутимый вклад в увеличение ПКО через ОСО.

Установлено, что особенностью поведения ПКО в пункте наблюдения г. Улан-Удэ является отставание его среднемесячных максимальных значений в годовом ходе от аналогичных макси-

мумов ОСО в среднем на четверть периода основной гармоники (3 мес.).

Вариации общего содержания озона в зимней стратосфере существенно зависят от полярного вихря, эволюции которого могут оказывать свое влияние на значительных расстояниях в средних широтах. Свидетельством этому является хорошая корреляция между плотностью озона на высоте 40 км в центре полярного вихря и ОСО в пункте наблюдения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бутуханов В.П., Жамсуева Г.С., Заяханов А.С., Ломухин Ю.Л. Связь концентрации озона с концентрацией окислов азота и температурой воздуха в приземном слое атмосферы г. Улан-Удэ // Метеорология и гидрология. 2005. № 10. С. 21–32.
- Бутуханов В.П., Ломухин Ю.Л. Вариации приземной концентрации озона в атмосфере г. Улан-Удэ // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. № 4. С. 503–509.
- Вергасова Г.В., Кокоуров В.Д., Казимировский Э.С. Общее содержание озона на широте 52°N // Солнечно-земная физика. 2005. Вып. 7. С. 88–94.
- Звягинцев А.М., Крученицкий Г.М. О связях долговременной изменчивости приземной концентрации озона с солнечной активностью и характеристиками общей циркуляции атмосферы по данным Европейских станций // Оптика атмосферы и океана. 1999. Т. 12. № 1. С. 10–13.
- Куликов Ю.Ю., Красильников А.А., Кукин Л.М., Рыскин В.Г., Белоглазов М.И., Савченко В.Р. О поведении стратосферного озона в западном секторе Российской

Арктики зимой–весной 2003/2004 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 2. С. 260–265.
Потемкин В.Л., Шультайс Э.В. Сезонная динамика концентрации приземного озона над Восточным Саяном // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17. № 4. С. 317–321.

Рыскин В.Г., Куликов Ю.Ю., Красильников А.А. Дистанционное зондирование озонового слоя в условиях зимней полярной стратосферы // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2005. Т. 69. № 2. С. 291–294.
ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/eptoms/data/monthly_averages/ozone

Variations of Ozone in the Atmosphere of Ulan-Ude

V. P. Butukhanov, J. L. Lomukhin

Institute of Physical Materials Science, SB RAS, Ulan-Ude

The results of analyzing the relationship of the total ozone and surface ozone concentration for long-term observations in the atmosphere of Ulan-Ude, received from EP TOMS instrument and ground-based automated measurement system of gas impurities. Described features of the seasonal, diurnal and interannual variations daily. The relation of the total ozone with the concentration of ozone in the stratosphere during the winter passage of the polar vortex.

Keywords: ground level concentrations of ozone, total ozone, seasonal, diurnal and annual variations, anti-cyclonic and cyclonic circulation, stratosphere-troposphere exchange, the circumpolar vortex