

## Вертикальное распределение озона в тропосфере над югом Западной Сибири

Б.Д. Белан, Г.Н. Толмачев, А.В. Фофонов\*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 2.06.2010 г.

По данным зондирования атмосферы, проводимого в течение многих лет на самолете-лаборатории АН-30 «Оптик-Э», рассмотрена динамика вертикального распределения тропосферного озона над одним из районов Сибири. Для измерений озона использовался хемилюминесцентный озонметр З-02П. Показано, что в годовом ходе вертикального распределения озона в тропосфере четко выделяются два режима: осенне-зимний и весенне-летний. Переход от осенне-зимнего к весенне-летнему начинается у поверхности земли в конце февраля и заканчивается в верхней тропосфере в конце апреля, а от весенне-летнего к осенне-зимнему начинается в верхней тропосфере в начале сентября и заканчивается в средней тропосфере в середине октября. За рассматриваемый период (1997–2009 гг.) в свободной тропосфере зафиксированы три четких максимума и два минимума. Причем не все они отражаются в приземном слое, так же как зоны повышенных концентраций не достигают верхней тропосферы. Наиболее вероятно, что это образование озона из соединений, приносимых из других регионов. Причиной этого, скорее всего, является изменение циркуляционных процессов. Рассмотрены также особенности распределения озона в пограничном слое атмосферы.

*Ключевые слова:* озон, вертикальный, распределение, тропосфера; ozone, vertical, distribution, troposphere.

### Введение

Данные о вертикальном распределении озона в основном получают с использованием озонзондов [1–7] или в ходе самолетного зондирования [8–11]. В последние годы к этим способам добавились спутниковые методы [12–15] и лидарное (лазерное) зондирование [16–19]. Спутниковые методы пока уступают двум первым по точности, лидарные измерения осуществляются в ограниченном количестве пунктов. Поэтому основное количество информации о вертикальном распределении озона получено к настоящему времени с помощью озонзондов либо самолетного зондирования.

Согласно [1–7] по озонзондовым данным обобщенный профиль озона в тропосфере выглядит так: в нижней тропосфере наблюдается относительный максимум, в верхней — относительный минимум. Их динамика значительно меньше, чем в стратосфере [20]. Однако такая картина зафиксирована не всеми авторами.

Так, в верхней тропосфере могут наблюдаться вторичные максимумы, которые обусловлены вторжением воздуха из стратосферы [21–23] или действием гравитационных волн [24].

Еще большие различия зафиксированы разными авторами для нижнетропосферного относительного

максимума. Причем этого касается как его интенсивности, так и расположения по высоте. В работах [25–27], относящихся к океаническим районам, нижний относительный максимум почти не проявляется. По-видимому, это отражает отсутствие источников озонобразующих веществ в океане, в результате чего фотохимической генерации озона здесь не наблюдается. Другие исследователи считают его обязательным атрибутом вертикального профиля озона [28–31]. Подобные результаты получены и по данным самолетного зондирования [32, 33].

Из приведенного крайне неполного перечня литературы о вертикальном распределении озона видно, что над территорией России подобные исследования почти не выполнялись.

Опираясь на данные самолетного зондирования атмосферы, проводимого в течение многих лет, рассмотрим динамику вертикального распределения тропосферного озона над одним из районов Сибири. Зондирование осуществлялось на самолете-лаборатории АН-30 «Оптик-Э», описание которого приведено в [34] с уточнениями в [35]. Для измерений озона использовался хемилюминесцентный озонметр З-02П. Вылеты самолета-лаборатории выполнялись ежемесячно на расстоянии 100 км от г. Новосибирска в юго-западном направлении для исключения вклада города. Взлет производился в полдень, когда происходит максимальная фотохимическая генерация озона, и продолжался в течение 3 ч. Высотный диапазон составлял от 0 до 7 км. К настоящему времени получено порядка 140 вертикальных

\* Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Геннадий Николаевич Толмачев (tgn@iao.ru); Александр Владиславович Фофонов (alenfo@iao.ru).

профилей озона, учитывая их различия при взлете и посадке.

## 1. Годовой ход вертикального распределения озона в тропосфере

Если обратиться к профилям (рис. 1), полученным в разные годы для января и июля, то однозначного вывода о динамике вертикального распределения сделать не удастся, кроме того, что в январе профили разделяются на две группы, соответствующие арктической и умеренной воздушным массам.

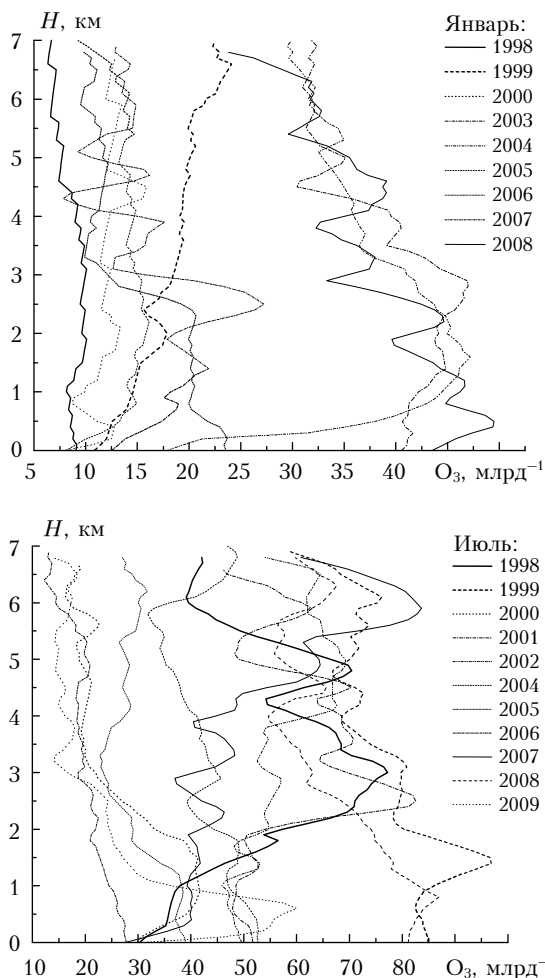


Рис. 1. Вертикальное распределение концентрации озона над югом Западной Сибири

Осреднение же данных позволяет сделать более закономерные выводы. Средние многолетние профили для каждого месяца представлены на рис. 2.

Видно, что эти профили по концентрации озона в свободной тропосфере можно разделить на две группы. К первой группе относятся профили, полученные в холодный период, с концентрацией от 20 до 30 млрд<sup>-1</sup>. Ко второй — распределения, изме-

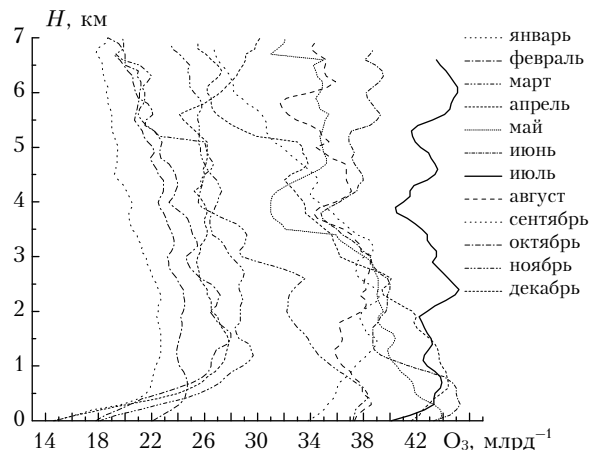


Рис. 2. Вертикальные профили озона над югом Западной Сибири для разных месяцев

ренные в теплый период с содержанием озона от 35 до 45 млрд<sup>-1</sup>. Важным различием этих групп является распределение озона в нижнем 1-км слое воздуха. В холодный период, когда сток озона на заснеженную поверхность минимален [36], его концентрация с уровня 1 км до земли резко падает, в теплый период такого резкого падения не фиксируется.

На наш взгляд, это обусловлено тем, что выпавший снег экранирует подстилающую поверхность. С нее поступает очень мало газов, предшественников озона. В теплое время года, наоборот, открытая поверхность и наличие на ней растительности поставляют в воздух значительное количество соединений, из которых образуется озон. В этом плане особенно показателен мартовский профиль. Нижнюю его часть можно отнести к летнему типу, верхнюю — к зимнему. В районе проведения эксперимента, а это хвойный лес, в марте происходит сброс снега с деревьев и появление первых проталин. Это сразу же сказывается на его фотохимической генерации озона в нижележащих слоях.

Пересечение кривых на рис. 2 не позволяет проанализировать еще ряд нюансов, поэтому те же данные приведем в другом виде (рис. 3).

Видно, что в годовом ходе вертикального распределения озона в тропосфере четко выделяются два режима: осенне-зимний и весенне-летний. Переход от осенне-зимнего к весенне-летнему начинается у поверхности земли в конце февраля и заканчивается в верхней тропосфере в конце апреля, а от весенне-летнего к осенне-зимнему начинается в верхней тропосфере в начале сентября и заканчивается в средней тропосфере в середине октября. Как видно из рис. 3, переходные процессы охватывают всю тропосферу.

Данные рис. 3 вскрывают и еще одну особенность. С октября по декабрь, когда подстилающая поверхность покрыта снегом и поток озонаобразующих соединений с нее экранируется в слое от 1 до 3 км, наблюдаются повышенные концентрации озона. Очевидно, что это его генерация из газов-предшественников, приносимых с территорий, не покрытых снегом.

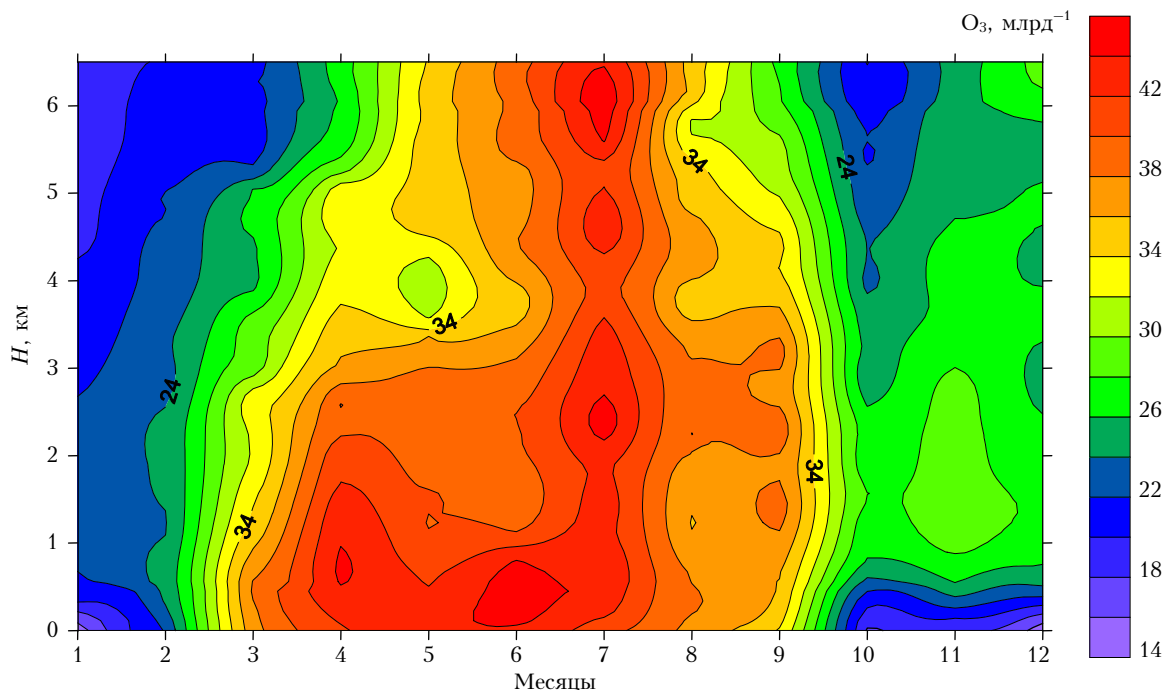


Рис. 3. Годовой ход концентрации озона на разных высотах

## 2. Многолетняя изменчивость вертикального распределения озона

Равный статистический вес ежемесячных профилей позволяет проанализировать многолетнюю изменчивость вертикального распределения озона над югом Западной Сибири (рис. 4).

Из рис. 4 следует, что за рассматриваемый период в свободной тропосфере отмечены три четких максимума и два минимума. Причем не все они от-

ражаются в приземном слое, так же как зоны повышенных концентраций не достигают верхней тропосферы. Очевидно, что это внутритропосферные процессы, которые не связаны с поступлением озонаобразующих веществ с подстилающей поверхности или осаждением самого озона из стратосферы. Наиболее вероятно образование озона из соединений, приносимых из вне региона. Причиной этого, скорее всего, является изменение циркуляционных процессов, хотя специально это не исследовалось. Подобные периодичности получены также в [37, 38]. Следует

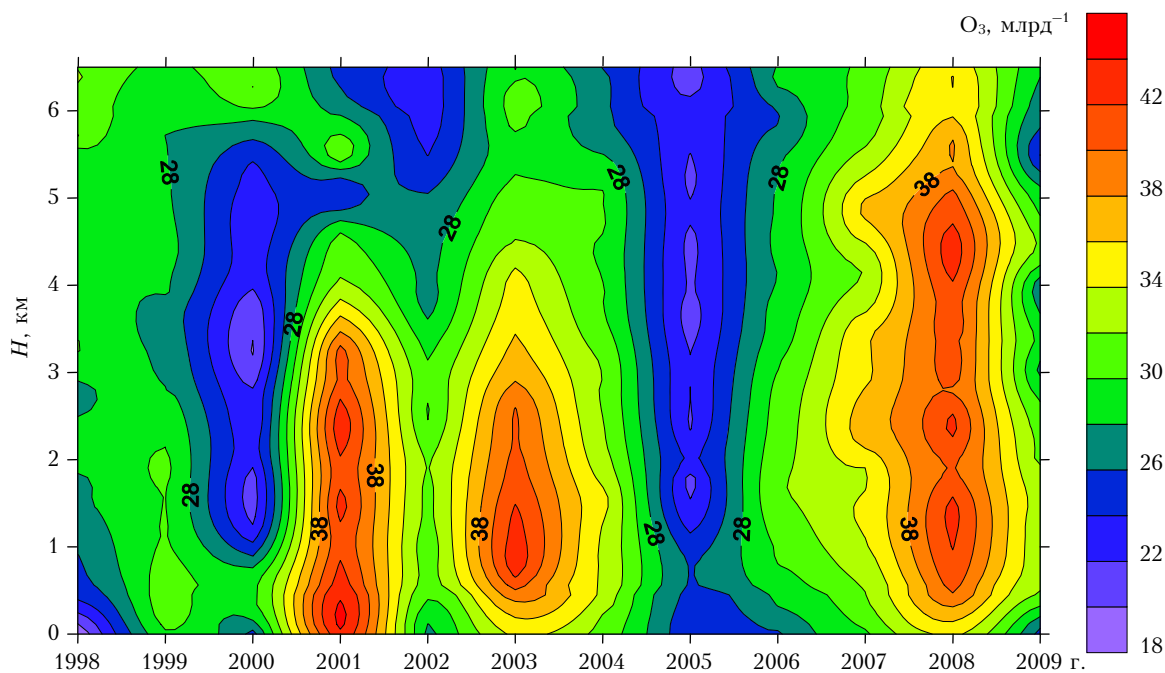


Рис. 4. Многолетний ход концентрации озона на разных высотах

подчеркнуть, что они значительно короче по времени, чем периодичности, фиксируемые для приземного слоя воздуха [39].

### 3. Средний многолетний профиль озона в тропосфере

По данным всех полетов построены средний профиль озона и среднеквадратические отклонения для каждой высоты (рис. 5). Левая кривая представляет абсолютные минимумы, правая — абсолютные максимумы.

Из рис. 5 видно, что среднее многолетнее распределение озона над югом Западной Сибири имеет почти нейтральный ход в средней тропосфере с небольшим уменьшением в верхней тропосфере и небольшим увеличением концентрации в пограничном слое атмосферы. В слое от 0 до 700 м наблюдается рост концентрации со значительным градиентом. По-видимому, это отражает длительность периода с заснеженной поверхностью, когда фотохимической генерации озона в этом слое не происходит. Средний многолетний профиль не отражает индивидуальных особенностей, отмеченных выше, свидетельствующих о наличии относительного максимума в нижней тропосфере. Возможно, что при осреднении сказались изменение его высоты (распределение озона в нижней тропосфере рассмотрим ниже).

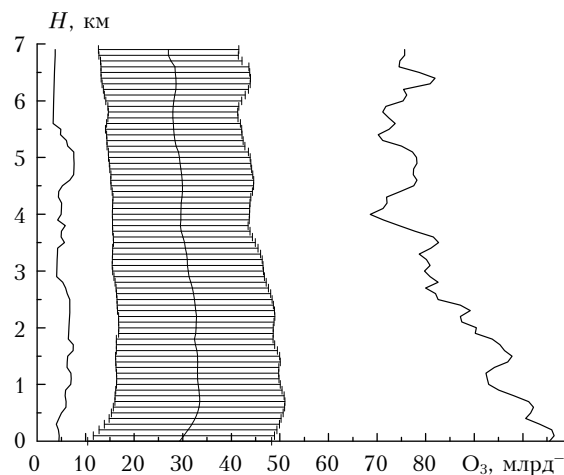


Рис. 5. Средний многолетний профиль озона над югом Западной Сибири

### 4. Особенности распределения озона в пограничном слое атмосферы

В значительном количестве работ показано, что распределение озона в пограничном слое атмосферы (ПСА) имеет явно выраженный суточный ход, который обусловлен его фотохимической генерацией из соединений, поступающих в ПСА [40–43]. Это хорошо видно и из наших данных (рис. 6).

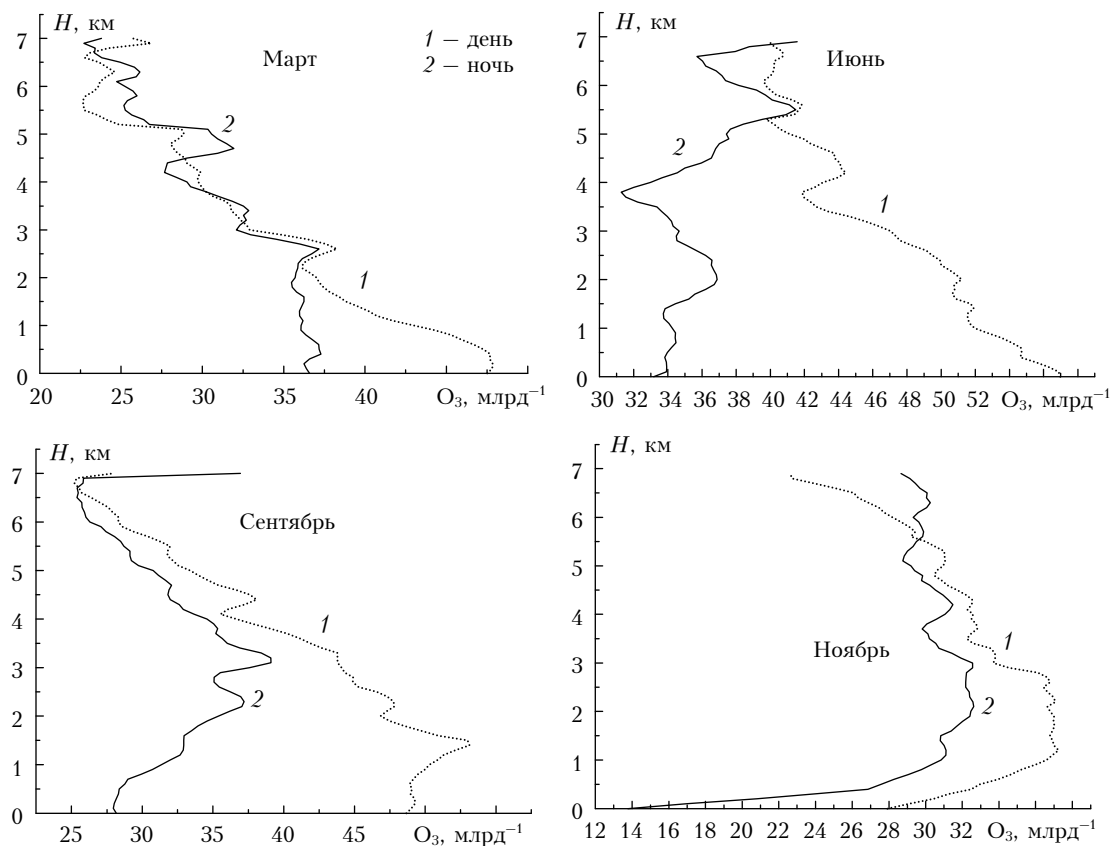


Рис. 6. Вертикальное распределение озона в пограничном слое атмосферы

Из рис. 6 независимо от периода следует, что дневное увеличение концентрации озона в пограничном слое атмосферы никак нельзя объяснить его поступлением из стратосферы или вышележащих слоев, поскольку там концентрация ниже. Объем образовавшегося озона (разница между дневной и вечерней концентрацией) увеличивается в теплое время, когда много поступает озonoобразующих веществ и имеется значительный приток солнечной радиации. Протяженность слоя, в котором наблюдается увеличение концентрации озона, пропорциональна высоте пограничного слоя. Высота максимума концентрации заметно меняется и, что наиболее вероятно, зависит от высоты поступления озonoобразующих веществ [44, 45].

Следует подробнее остановиться на ноябрьском профиле (рис. 6), который демонстрирует резкую убыль озона в приземном слое. По собранным сведениям [36], сток на снежную поверхность на 1–2 порядка меньше, чем, например, на влажную траву. Возможно, поскольку Западная Сибирь подвержена частым прямым арктическим вторжениям, в ее снежном покрове скапливается значительное количество галогенов, которые и способствуют интенсивному стоку озона на снежную поверхность. Такие процессы зафиксированы в ряде исследований, проведенных в Арктике и Антарктике [46–50].

Работа выполнена при поддержке программ: Президиума РАН № 16 «Окружающая среда в условиях изменяющегося климата: экстремальные природные явления и катастрофы», Отделения наук о Земле РАН № 5 «Наноразмерные частицы в природе и в техногенных продуктах: условия нахождения, физические и химические свойства и механизмы образования», гранта РФФИ № 08-05-92499, госконтрактов Роснауки № 02.518.11.7153 и 02.740.11.0674.

1. Leung Y., Chang W.L. Some characteristics of ozone profiles above Hong Kong // *Meteorol. Atmos.* 2004. V. 87, N 4. P. 279–290.
2. Gupta S., Lal S., Venkateramani S., Rajesh T.A., Askarya Y.B. Variability in the vertical distribution of ozone over a subtropical city in India during a winter month // *J. Atmos. and Sol.-Terr. Phys.* 2007. V. 69, N 13. P. 1502–1512.
3. Yorks J.E., Thompson A.M., Joseph E., Miller S.K. The variability of free tropospheric ozone over Beltsville, Maryland (39 N, 77 W) in the summers 2004–2007 // *Atmos. Environ.* 2009. V. 43, N 11. P. 1827–1838.
4. Deshler T., Hofmann D.J., Hereford J.V., Sutter C.B. Vertical profiles of ozone and aerosol at Mc Murdo Station, Antarctica, in the spring of 1989 // *Antarct. J. US.* 1990. V. 25, N 5. P. 243–244.
5. Богданов С., Виденов П. Измерване на съдържанието на озона над София // *Пробл. метеорол. и хидрол.* 1990. № 7. С. 21–26.
6. Newchurch M.J., Ayoub M.A., Oltmans S., Johnson B., Schmidlin F.J. Vertical distribution of ozone at four sites in the United States // *J. Geophys. Res.* D. 2003. V. 108, N 1. 4301, doi: 10.1029/2002JD002059.
7. Юшков В.А., Накане Х., Цветкова Н.Д., Дорохов В.М., Ситникова В.И., Лукьянов А.Н. Исследование состояния озонового слоя в зимне-весенний период 2000 г. с помощью баллонных измерений и наземных наблюдений в Сибири // *Метеорол. и гидрол.* 2002. № 12. С. 27–35.

8. Tsutsumi Y., Makino Y.Y., Jensen J.B. Vertical and latitudinal distributions of tropospheric ozone over the western Pacific. Case studies from the PACE aircraft missions // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108, D8, 4251, doi: 10/1029/2001JD 001374.
9. Pison I., Menut L. Quantification of the impact of aircraft traffic emissions on tropospheric ozone Paris area // *Atmos. Environ.* 2004. V. 38, N 7. P. 971–983.
10. Tressoll M., Ordóñez C., Zbinden R., Brioude J., Thouret V., Mari C., Nedelec P., Cammas J.-P., Smit H., Patz H.-W., Volz-Thomas A. Air pollution during the 2003 European heat wave as seen by MOZAIC airlines // *Atmos. Chem. Phys.* 2008. V. 8, N 8. P. 2133–2150.
11. Белан Б.Д., Плотников А.П., Толмачев Г.Н. Сезонная динамика вертикального распределения тропосферного озона над Западной Сибирью // *Оптика атмосфер. и океана.* 2001. Т. 14, № 4. С. 315–318.
12. Boynard A., Clerbaux C., Coheur P.F., Hurtmans D., Turquety S., George M., Hadji-Lazarou J., Koim C., Meyer-Arnek J. Measurements of total and tropospheric ozone from IAST: comparison with correlative satellite, ground-based and ozonesonde observations // *Atmos. Chem. Phys.* 2009. V. 9, N 16. P. 6255–6271.
13. Worden H.M., Logan J.A., Worden J.R., Beer R., Bowman K., Clough S.A., Eldering A.A., Fisher B.M., Guntson M.R., Herman R.L., Kulawik S.S., Lampel M.C., Luo M., Megretskaia I.A., Osterman G.B., Sherhard M.W. Comparisons of Tropospheric Emission Spectrometer (TES) ozone profiles to ozonesondes: Methods and initial results // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112, D03309, doi: 10.1029/2006JD007258.
14. Thompson A.M., Witte J.C., Smit H.G.J., Oltmans S.J., Johnson B.J., Kirchhoff V.W., Schmidlin F.J. Southern Hemisphere Additional Ozonesondes (SHADOZ) 1998–2004 tropical ozone climatology: 3. Instrumentation, station-to-station variability, and evaluation with simulated flight profiles // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112, D03304, doi: 10.1029/2005JD007042.
15. Muller M.D., Kaifel A.K., Weber M., Tellmann S., Burrows J.P., Loyola D. Ozone profile retrieval from Global Ozone Monitoring Experiment (GOME) data using a neural network approach (Neural Network Ozone Retrieval System (NNORSY)) // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108, D16, 4497, doi: 10.1029/2002JD002784.
16. Shibata T., Maeda M., Utsunomiya A., Mizoguchi T. Simultaneous Measurements of ozone by UV Lidar and Chemical Ozonesonde // *J. Meteorol. Soc. Jap.* 1987. V. 65, N 6. P. 999–1003.
17. Neuber R., Kruger B.C., Schrems O. Remote measurements of ozone concentration and aerosols in the Arctic stratosphere // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1991. V. 340, N 10. P. 650–653.
18. Couach O., Balin I., Jimenez R., Ristori P., Peroge S., Kirchner F., Simeonov V., Calpini B., van den Bergh H. An investigation of ozone and planetary boundary layer dynamics over the complex topography of Grenoble combining measurements and modeling // *Atmos. Chem. Phys.* 2003. V. 3, N 3. P. 549–562.
19. Clain G., Baray G.L., Delmas R., Diab R., Leclair de Bellevue J., Keckhut P., Posny F., Metzger J.M., Cammas J.P. Tropospheric ozone climatology at two Southern Hemisphere tropic / subtropical sites (Reunion Island and Irene, South Africa) from ozonesondes, LIDAR, and in situ aircraft measurements // *Atmos. Chem. Phys.* 2009. V. 9, N 5. P. 1723–1734.
20. Dutsch H.U. Vertical ozone distribution on a global scale // *Pageoph.* 1978. V. 116, N 2–3. P. 511–529.
21. Hwang S.-H., Kim J., Cho G.-R. Observation of secondary ozone peaks near the tropopause over the Korean

- peninsula associated with stratosphere-troposphere exchange // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112, D16305, doi: 10.1029/2006JD007978.
22. Lemoine R. Secondary maxima in ozone profiles // *Atmos. Chem. Phys.* 2004. V. 4, N 4. P. 1085–1096.
  23. Fujiwara M., Tomikawa Y., Kita K., Kondo Y., Komala N., Saraspriya S., Manik T., Suropto A., Kawakami S., Ogawa T., Kelana E., Suhardi B., Harijono S.W.E., Kudsy M., Sribimwati T., Yamanaka M.D. Ozone-sonde observations in the Indonesian maritime continent: a case study on ozone rich layer in the equatorial upper troposphere // *Atmos. Environ.* 2003. V. 37, N 3. P. 353–362.
  24. Teitelbaum H., Moustouni M., Ovarlez J., Kelder H. The role of atmospheric waves in the laminated structure of ozone profiles at high latitude // *Tellus. A.* 1996. V. 48, N 3. P. 442–455.
  25. Oltmans S.J., Jonson B.J., Harris J.M., Thompson A.M., Liu H.Y., Chan C.Y., Vomel H., Fujimoto T., Brakke V.G., Chang J.P., Kim J.H., Chan L.Y., Chang H.-W. Tropospheric ozone over the North Pacific from ozone-sonde observations // *J. Geophys. Res.* 2004. V. 109, D15S01, doi: 10.1029/2003JD003466.
  26. Xicengdong Z., Xiuji Z., Jic T., Yu Q., Chuenyu C. A meteorological analysis on a low tropospheric ozone event over Xining, North Western China on 26–27 July 1996 // *Atmos. Environ.* 2004. V. 38, N 2. P. 261–271.
  27. De Laat A.T.J. On the origin of tropospheric O<sub>3</sub> over the Indian Ocean during the winter monsoon: African biomass burning vs. stratosphere-troposphere exchange // *Atmos. Chem. Phys.* 2002. V. 2, N 5. P. 325–341.
  28. Fujiwara M., Kita K., Ogawa T., Kawakami S., Sano T., Komala N., Saraspriya S., Suropto A. Seasonal variation of tropospheric ozone in Indonesia revealed by 5-year ground-based observations // *J. Geophys. Res. D.* 2000. V. 105, N 2. P. 1879–1888.
  29. Hayashi H., Kita K., Taguchi S. Ozone-enhanced layers in the troposphere over the equatorial Pacific Ocean and the influence of transport of midlatitude UT/LS air // *Atmos. Chem. Phys.* 2008. V. 8, N 10. P. 2609–2621.
  30. Lin Ch.-Y., Chang C.-C., Chan C.Y., Kuo C.H., Chen W.-C., Chu D.A., Lin S.C. Characteristics of springtime profiles and sources of ozone in the low troposphere over northern Taiwan // *Atmos. Environ.* 2010. V. 44, N 2. P. 182–193.
  31. Suppan P. Photochemische Untersuchungen mit Hilfe eines bemannten Gasballons // *Wetter und Leben.* 1995. V. 47, N 2–4. P. 197–206.
  32. Kalabokas P.D., Volz-Thomas A., Brionde J., Thouret V., Cammas J.-P., Ropaps C.C. Vertical ozone measurements in the troposphere over the Eastern Mediterranean and comparison with Central Europe // *Atmos. Chem. Phys.* 2007. V. 7, N 14. P. 3783–3790.
  33. Sauvage B., Thouret V., Cammas J.-P., Gheusi F., Athier G., Nedelec P. Tropospheric ozone over Equatorial Africa: regional aspects from the MOZAIC data // *Atmos. Chem. Phys.* 2005. V. 5, N 2. P. 311–335.
  34. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Кабанов Д.М., Ковалевский В.К., Лукьянов О.Ю., Мелешихин В.Е., Микушев М.К., Панченко М.В., Пеннер И.Э., Покровский Е.В., Сакерин С.М., Терпугова С.А., Тумаков А.Г., Шаманаев В.С., Щербатов А.И. Самолет-лаборатория АН-30 «Оптик-Э» для экологических исследований // *Оптика атмосф. и океана.* 1992. Т. 5, № 10. С. 1012–1021.
  35. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Козлов В.С., Панченко М.В., Пеннер И.Э., Пестунов Д.А., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В., Шаманаев В.С., Шмаргунов В.П. Самолет-лаборатория АН-30 «Оптик-Э»: 20 лет исследования окружающей среды // *Оптика атмосф. и океана.* 2009. Т. 22, № 10. С. 950–957.
  36. Белан Б.Д. Тропосферный озон. 7. Стоки озона в тропосфере // *Оптика атмосф. и океана.* 2010. Т. 23, № 2. С. 108–127.
  37. Jeannot P., Stubi R., Levrat G., Viatte P., Staehelin J. Ozone balloon soundings at Payerne (Switzerland): Re-evaluation of the time series 1967–2002 and trend analysis // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112, D11302, doi: 10.1029/2005JD006862.
  38. Logan J.A., Megretskaya I.A., Miller A.J., Tiao G.C., Choi D., Zhang L., Stolarski R.S., Labow G.J., Hollandsworth S.M., Bodeker G.E., Claude H., De Muer D., Kerr J.B., Tarasick D.W., Oltmans S.J., Johnson B., Schmidlin F., Staehelin J., Viatte P., Uchino O. Trends in the vertical distribution of ozone: A comparison of two analyses of ozonesonde data // *J. Geophys. Res. D.* 1999. V. 104, N 21. P. 26373–26399.
  39. Антохин П.Н., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Белан С.Б., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н. Многолетняя изменчивость озона и аэрозоля в районе Томска и оправданность прогноза их среднегодовых концентраций на десятилетие // *Оптика атмосф. и океана.* 2010. Т. 23, № 9. С. 772–776.
  40. Stohl A., James P. A 3d Backward Trajectory Database for the TOR-2 Project provided by the Lagrangian Trajectory Model ELEXTRA // TOR-2 EUROTRAC Subproject Final Report. Munich: ISS, 2003. P. 144–159.
  41. Grant R.H., Wong K.-L. Ozone profiles over a suburban neighborhood // *Atmos. Environ.* 1999. V. 33, N 1. P. 51–63.
  42. Cheng W.-L. A vertical profile of ozone concentration in the atmospheric boundary layer over central Taiwan // *Meteorol. and Atmos. Phys.* 2000. V. 75, N 3–4. P. 251–258.
  43. Tricki T. Transport studies by lidar sounding – the IFU activities in 2000 // TOR-2. Annual report. 2000. Munich: ISS, 2001. P. 89–93.
  44. Pregger T., Friedrich R. Effective pollutant emission heights for atmospheric transport modeling based on real-world information // *Environ. Pollut.* 2009. V. 157, N 2. P. 552–560.
  45. Pozzer A., Jockel P., Van Ardenne J. The influence of the vertical distribution of emissions on tropospheric chemistry // *Atmos. Chem. Phys.* 2009. V. 9, N 24. P. 9417–9432.
  46. Tarasick D.W., Bottenheim J.W. Surface ozone depletion episodes in the Arctic and Antarctic from historical ozonesonde records // *Atmos. Chem. Phys.* 2002. V. 2, N 3. P. 197–205.
  47. Li S.-M., Winohester J.W., Kahl J.D., Oltmans S.J., Schnell R.C., Sheridan P.J. Arctic Boundary layer ozone variation associated with nitrate, bromine, and meteorology: a case study // *J. Geophys. Res. D.* 1990. V. 95, N 13. P. 22433–22440.
  48. Solberg S., Schmidbauer N., Semb A., Stordal F., Hov O. Boundary-layer ozone depletion as seen in the Norwegian Arctic in spring // *J. Atmos. Chem.* 1996. V. 23, N 3. P. 301–332.
  49. Mickle R.E., Bottenheim J.W., Leitch W.R., Evans W. Boundary layer ozone depletion during AGASP-II // *Atmos. Environ.* 1989. V. 23, N 11. P. 2424–2449.
  50. Strong C., Fuentes J.D., Davis R.E., Bottenheim J.W. Thermodynamic attributes of Arctic boundary layer ozone depletion // *Atmos. Environ.* 2002. V. 36, N 15–16. P. 2641–2652.

*B.D. Belan, G.N. Tolmachev, A.V. Fofonov.* **Vertical ozone distribution in troposphere above south regions of West Siberia.**

Dynamics of the troposphere ozone vertical distribution above one of the Siberian regions is considered, based on many-years sensing of troposphere from the AN-30 aircraft-laboratory, using the 3-02P chemiluminescence lidar. Two clearly distinguished modes are seen in the yearly vertical ozone distribution: autumn–winter and spring–summer. The transitions from the autumn–winter mode to the spring–summer one begins near the ground surface at the end of February and terminates in the upper troposphere at the end of April; the back transition begins in the upper troposphere in the beginning of September and terminates in the middle troposphere in the middle of October. The distinct maxima and two minima were fixed in the free troposphere for the considered period (1997–2009). Not all of them were reflected at the ground layer, as well as zones of the ozone increased concentrations do not reach the upper troposphere. Most possible, this is the ozone generation from compounds, carried from other regions due to the variation of circulation processes. The peculiarities of the ozone distribution in the atmospheric boundary layer are also considered.