

Аномальное понижение уровня общего содержания озона над Томском и северной территорией России в марте—апреле 2011 г.

О.Е. Баженов, В.Д. Бурлаков*

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

Поступила в редакцию 28.06.2011 г.

В марте—апреле 2011 г. озонметром М-124 над г. Томском зарегистрировано аномальное понижение уровня общего содержания озона (ОСО). По сравнению с многолетними средними значениями понижение достигало 30%. На основе анализа данных спутниковых измерений ОСО и температуры наблюдаемое понижение ОСО над северной территорией России связано с деструкцией озона в полярной стратосфере вследствие аномально низких температур на высотах 20–30 км и выносом обедненных озоном полярных воздушных масс в области за пределами полярного вихря. В мае 2011 г. озон вернулся к своим многолетним средним сезонным значениям.

Ключевые слова: общее содержание озона, временной ряд, аномалия; total ozone content, time series, anomaly.

Введение

С середины 1990-х гг. и по настоящее время в глобальном масштабе [1–3], в том числе над территорией России [4] и Томска [5], регистрируется прекращение спада общего содержания озона (ОСО), который наблюдался с начала 1980-х гг., или же наметился тренд роста ОСО, что особенно заметно в средних и высоких широтах Северного полушария. Прогнозируется, что ОСО вернется к уровню 1980 г. в период 2035–2050 гг. Одновременно со стабилизацией и ростом ОСО наметились стабилизация и спад эффективного эквивалента стратосферного хлора, который характеризует концентрацию озоноразрушающих веществ (ОРВ). Он рос примерно до 1996 г. Эту тенденцию связывают с реализацией Международного Монреальского протокола и последующих поправок к нему, которые начали действовать с 1989 г. и предусматривают ограничение производства и выбросов в атмосферу ОРВ. Однако привязка озонного тренда только к изменениям ОРВ является неоднозначной задачей в связи с многообразием факторов, дающих собственный вклад в изменчивость и тренды озона.

Выделяют и рассматривают следующие основные факторы, которые могут иметь характер кратковременного или долговременного природного и антропогенного воздействия: химические атмосферные процессы, атмосферная динамика, температурно-климатические изменения, солнечная активность, вул-

канические возмущения стратосферы. Эти процессы, в свою очередь, в той или иной степени взаимосвязаны: усиление или ослабление одного фактора может влиять на изменение степени воздействия другого фактора. Кроме того, влияние указанных факторов имеет свои особенности в различных широтах Северного и Южного полушарий.

На фоне общего долговременного тренда понижения или роста ОСО происходят сезонные, квазидвухлетние и другие периодические циклы изменений содержания озона, а также сравнительно кратковременные аномальные изменения, превышающие уровень средних многолетних значений. Аномальные изменения ОСО существенно зависят от изменений температуры и динамических процессов в стратосфере. Падение температуры ниже -78°C может стимулировать образование полярных стратосферных облаков (ПСО) (также именуемых перламутровыми облаками) в зимней полярной стратосфере на высотах 15–25 км. Эти облака часто образуют многослойную структуру толщиной 1 км и горизонтальной протяженностью в несколько тысяч километров. Они имеют незначительную оптическую толщину и слабо различимы даже вооруженным глазом.

На частицах ПСО различных типов происходят фотохимические реакции, которые превращают резервуарные соединения в агрессивные ОРВ. В частности, создаются условия для образования активного хлора, катализирующего разрушение озона, и условия для удаления газообразной азотной кислоты, которая в противном случае связывала бы озоноразрушающее соединение ClO и способствовала образованию менее реактивных соединений. Эти факторы

* Олег Елисеевич Баженов (boe@iao.ru); Владимир Дмитриевич Бурлаков (burakov@iao.ru).

особенно характерны для Антарктики, в Арктике полярный вихрь намного слабее ввиду отсутствия материковой поверхности, а также вследствие того, что температура выше на несколько градусов, чем в Антарктике.

В работе [6] показано, что изменчивость химического разрушения ОСО в Арктике и количество озона, переносимого в Арктику меридиональным переносом из тропического резервуара в зимний период, приблизительно в равной мере участвуют в формировании весенней изменчивости ОСО в высоких широтах. Разница между доставляемым озоном и химическим разрушением, как правило, положительна и, как следствие, аномального понижения ОСО в Арктике, сравнимого с уровнем озоновой дыры в Антарктике, не наблюдалось [7].

В этом регионе эпизодически возникают аномальные, но значительно менее интенсивные понижения ОСО. Весной 2011 г. над северными территориями Евразии наблюдался аномальный уровень ОСО. Озоновый слой в Арктике потерял порядка 40% ОСО с начала зимы по конец марта, по данным Всемирной Метеорологической Организации (ВМО), вследствие продолжающегося присутствия ОРВ в атмосфере и очень холодной зимы в стратосфере. Аномальное понижение уровня ОСО также затронуло часть северной территории России.

1. Данные измерений

На Сибирской лидарной станции Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (Томск: 56,48° с.ш., 85,05° в.д.) измерения ОСО ведутся с помощью озонметра М-124 с 1993 г. В наших измерениях мы зафиксировали падение уровня ОСО в марте–апреле 2011 г. над Томском и сравнили его с данными спутниковой аппаратуры TOMS (спутник AURA) [8] (рис. 1).

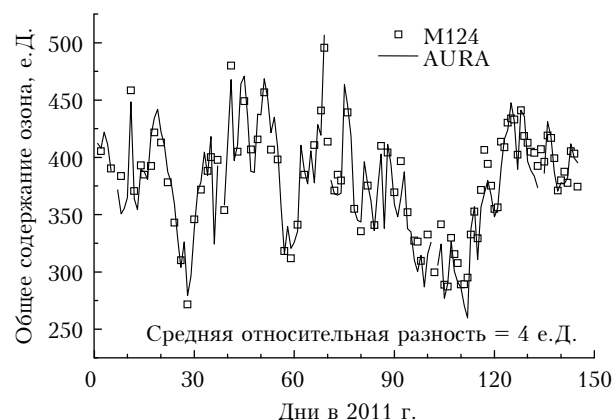


Рис. 1. Сравнение результатов измерения ОСО над Томском с помощью озонметра М-124 и на основе аппаратуры TOMS за период 1 января — 25 мая 2011 г.

Наблюдается хорошее совпадение результатов измерений с максимальным уменьшением ОСО в апреле. Средняя относительная разница значений составляет 4 е.д. Ранее проведенное сравнение резуль-

татов измерений также показало их совпадение [5]. В дальнейшем при рассмотрении и анализе результатов мы используем данные TOMS в целях однородности представления и сравнения результатов для различных точек наблюдений.

Наглядное уменьшение ОСО иллюстрируется сравнением данных измерений 2011 г. с предыдущими годами. На рис. 2 приведены сравнительные данные TOMS за 2005–2011 гг. для пяти городов России.

Видно, что эффект уменьшения ОСО по сравнению с многолетними средними значениями марта–апреля проявляется в наибольшей степени в северных широтах и ослабевает с уменьшением широты. Наши предыдущие измерения [9] показывают, что многолетняя среднегодовая норма ОСО составляет около 400 е.д. для марта и 390 е.д. для апреля. Согласно измерениям М-124 14 апреля 2011 г. ОСО над Томском понижалось до 290 е.д. (понижение на 30% по сравнению со средним значением для этой даты за период 2000–2010 гг., составляющим 414 е.д.). Из рис. 2 следует, что в мае ситуация нормализовалась и озон следовал своему обычному сезонному ходу во всех представленных пунктах наблюдения.

2. Обсуждение результатов измерений

С привлечением данных спутниковых измерений возможно следующее объяснение наблюдаемых аномалий ОСО. Спутник CALIPSO 4 января 2011 г. зафиксировал ПСО при пролете над Гренландским морем и Датским проливом на широте ~70° [10]. Явление наблюдалось на высотах порядка 20–30 км на горизонтальном протяжении около 1100 км. Высказывается предположение [10], что облако образовалось благодаря волнам, генерируемым горными массивами, т.е. в результате подъема воздушных масс при их прохождении над горами или высокими ледниковыми щитами. Это достаточно редкое явление, так как для его реализации необходима особая ориентация струйного течения относительно полярного вихря в Арктике. В этих условиях возникают вертикальное движение и распространение волн в верхнюю атмосферу.

Мы сравнили ход температуры на четырех высотных уровнях (22, 24, 27 и 30 км) и изменение ОСО для четырех точек к северу (рис. 3, а) и югу (рис. 3, б) от 70-й параллели Северного полушария. Использовались спутниковые данные о температуре и ОСО [8] для первых четырех месяцев за период 2005–2011 гг. Для наиболее высоких широт в начале года спутниковые данные по ОСО отсутствуют по причине полярной ночи. При обработке данных применялось сглаживание по 30 точкам. Из анализа рис. 3, а можно сделать вывод о том, что рассматриваемые пункты оказались под воздействием поля низких температур (ниже –78 °С) в стратосфере с возможным образованием ПСО, о чем свидетельствует быстрый отрицательный отклик ОСО.

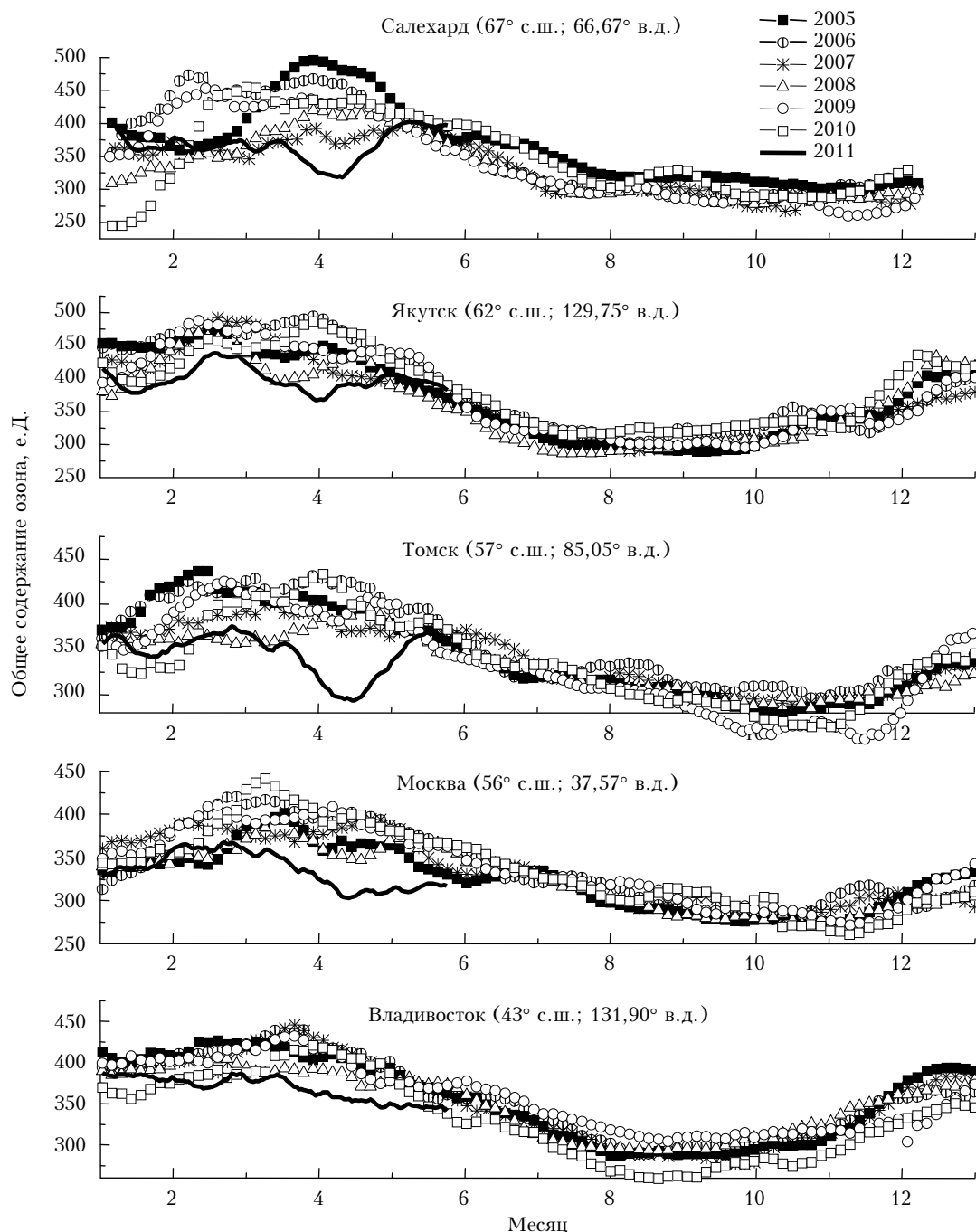


Рис. 2. Изменения ОСО над некоторыми городами России в 2005–2011 гг., по данным спутниковых измерений TOMS

В отчете ВМО [11] указывается, что экспорт обедненного озона из области полярного вихря в средние широты объясняет на 30% тренды ОСО в средних широтах Северного полушария и на 50% тренды Южного полушария за период 1979–1995 гг. В работе [12] с помощью моделирования на основе многолетних рядов исследовано распространение обедненного озона из области полярного вихря в средние широты Северного полушария в апреле и мае. Показано, что долготные различия в экспорте обедненного озона воздуха ответственны за долготную зависимость зимнего и ве-

сенного трендов ОСО в средних широтах Северного полушария.

В таблице представлены значения среднего ОСО за март и апрель для пунктов, рассмотренных в настоящей статье. В числителе содержится среднее значение (норма) в марте и апреле за период 2005–2010 гг.; в знаменателе — среднее значение в марте и апреле 2011 г.; в скобках указано отклонение средних значений в марте и апреле 2011 г. от нормы (в процентах). В целом для северных пунктов наблюдений наиболее выраженное понижение ОСО наблюдалось в марте, а для территорий южнее — в апреле.

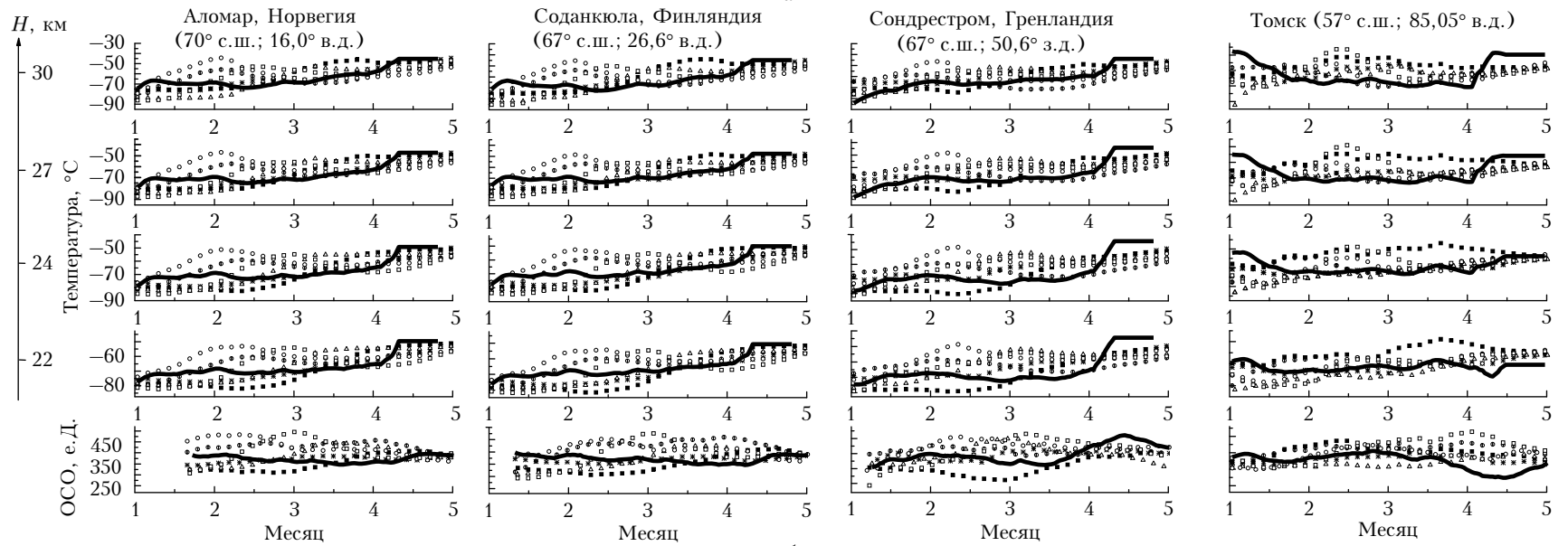
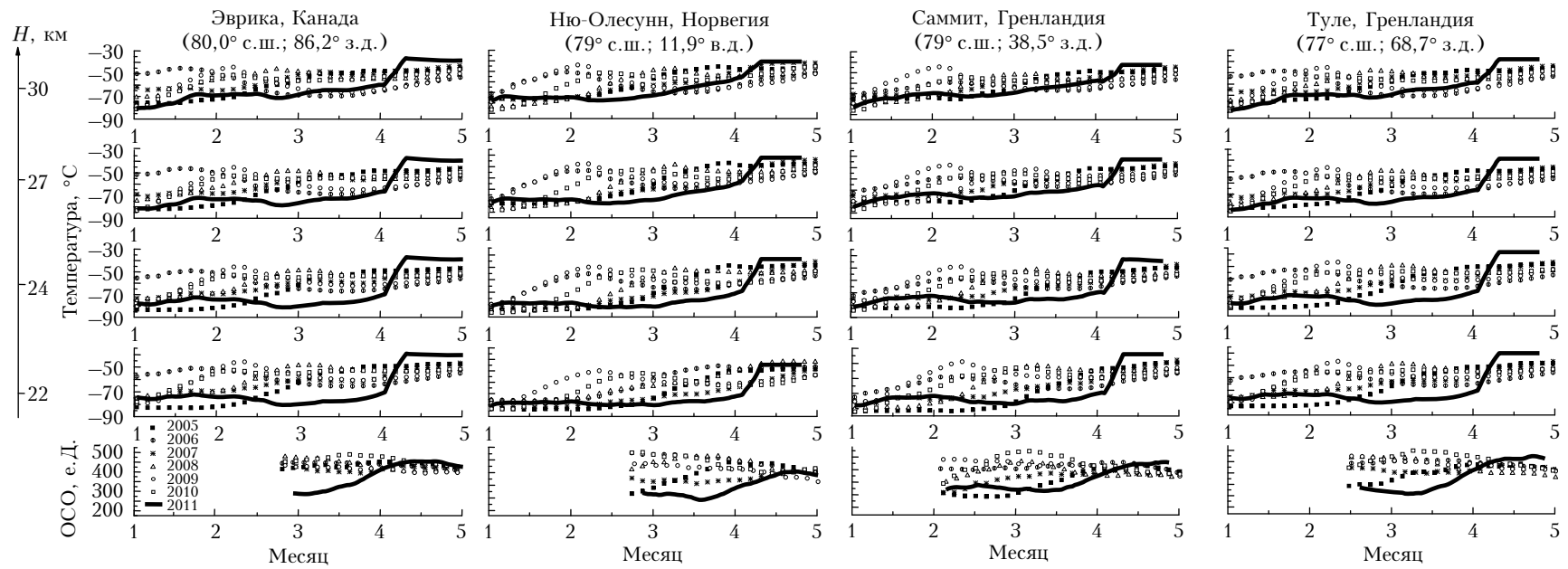


Рис. 3. Спутниковые данные о температуре и ОСО [8] для четырех первых месяцев за период 2005–2011 гг. для четырех географических пунктов, расположенных севернее (а) и южнее (б) 70° с.ш. При построении использовано сглаживание по 30 точкам

Отклонение ОСО в 2011 г. от шестилетней (2005–2010 гг.) нормы в марте и апреле для различных географических пунктов Арктики и России. Элементы таблицы составлены следующим образом: норма за 2005–2010 / среднее за 2011 (отклонение от нормы в процентах)

Месяц	Эврика (80° с.ш.)	Нью-Олесунн (79° с.ш.)	Саммит (79° с.ш.)	Туле (77° с.ш.)
Март	437/318 (–27%)	426/298 (–30%)	407/319 (–22%)	440/329 (–25%)
Апрель	423/454 (+7%)	408/393 (–3%)	397/422 (+6%)	424/461 (+9%)
	Аломар (70° с.ш.)	Соданкюла (67° с.ш.)	Сондрестром (67° с.ш.)	Салехард (67° с.ш.)
Март	414/351 (–15%)	408/357 (–12%)	409/363 (–11%)	418/372 (–11%)
Апрель	390/389 (–0,3%)	392/379 (–3%)	406/458 (+12%)	424/339 (–20%)
	Якутск (62° с.ш.)	Томск (57° с.ш.)	Москва (56° с.ш.)	Владивосток (43° с.ш.)
Март	444/389 (–12%)	401/387 (–3%)	401/388 (–3%)	426/418 (–2%)
Апрель	439/390 (–11%)	405/323 (–20%)	383/344 (–10%)	406/390 (–4%)

Из анализа данных таблицы и рис. 3 можно сделать вывод о том, что после повышения температур в стратосфере в конце марта – начале апреля 2011 г. над областями севернее 70° с.ш., возможно повлекшего разрушение полярного вихря и ослабление его изоляции, обедненные озонном воздушные массы стали поступать в субполярные области, о чем может свидетельствовать более позднее понижение ОСО в областях южнее 70° с.ш.

Заключение

Из проведенного анализа данных измерений TOMS и M-124 можно сделать следующие выводы.

1. В марте–апреле 2011 г. над Томском и частью северной территории России регистрировались аномальные (до 30% по сравнению с многолетней нормой) понижения уровня ОСО, что явилось следствием разрушения озона в полярной стратосфере под воздействием аномально низких температур на высотах 20–30 км и выноса обедненных озонном северных воздушных масс в области за пределами полярного вихря.

2. В мае 2011 г. ОСО вернулось к своим нормальным средним сезонным значениям.

Авторы признательны персоналу сайта TOMS за любезное предоставление данных и отдельно Christian Retscher (christian.retscher@nasa.gov) за информацию, касающуюся наборов данных на сайте AURA Validation Data Center (AVDC).

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (госконтракты № 02.740.11.0674, 14.740.11.0204 и 16.518.11.7067) и проекта № 2 Президиума СО РАН.

1. *World Meteorological Organization. Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 52 Scientific Assessment of ozone Depletion: 2010 Pursuant to Article*

6 of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Geneva, Switzerland.

2. *Yang S.-K., Long C.S., Miller A.J., He X., Yang Y., Wuebbles D.J., Tiao G. Modulation of natural variability on a trend analysis of updated cohesive SBUV(2) total ozone // Int. J. Remote Sens. 2009. V. 30 (15-16). P. 3975–3986. doi: 10.1080/01431160902821924.*
3. *Angell J.K., Free M. Ground-based observations of the slowdown in ozone decline and onset of ozone increase // J. Geophys. Res. 2009. V. 114, N D07303. doi: 10.1029/2008JD010860.*
4. *Звягинцев А.М., Ананьев Л.Б., Артамонова А.А. Изменчивость общего содержания озона над территорией России в 1973–2008 гг. // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 3. С. 190–195.*
5. *Баженов О.Е. Долговременные тренды изменений общего содержания озона по данным наземных (Томск: 56,48° с.ш., 85,05° в.д.) и спутниковых измерений // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 9. С. 770–774.*
6. *Tegtmeier S., Rex M., Wohltmann I., Krüger K. Relative importance of dynamical and chemical contributions to Arctic wintertime ozone // Geophys. Res. Lett. 2008. N 35. L17801, doi: 10.1029/2008GL034250.*
7. *Solomon S., Portmann R.W., Thompson D.W.J. Contrasts between Antarctic and Arctic ozone depletion // Proc. Nat. Acad. Sci. 2007. V. 104, N 2. P. 445–449. doi: 10.1073/pnas.0604895104.*
8. URL: <http://avdc.gsfc.nasa.gov/>
9. *Зуев В.В., Долгий С.И., Баженов О.Е. Климатология и тренды стратосферного озона над Томском за период 1996–2002 гг. // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17, № 4. С. 312–316.14.*
10. URL: <http://www.physorg.com/news/2011-02-calipsospies-polar-stratospheric-clouds.html>
11. *World Meteorological Organization (WMO)/United Nations Environment Programme (UNEP): Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project, Report N 50. Geneva, Switzerland, 2007.*
12. *Andersen S.B., Knudsen B.M. The influence of polar vortex ozone depletion on NH mid-latitude ozone trends in spring // Atmos. Chem. Phys. 2006. N 6. P. 2837–2845.*

O.E. Bazhenov, V.D. Burlakov. Anomalous decrease of the level of the total ozone content over Tomsk and northern territory of Russia in March–April 2011.

In March–April 2011, the M-124 ozonometer observations recorded an anomalous decrease in the level of the total ozone (TO) content over Tomsk. The decrease reached 30% as compared with multiyear averages. Based on analysis of satellite measurement data on TO content and temperature, the observed TO decrease over the northern territory of Russia was associated with the ozone destruction in the polar stratosphere due to anomalously low temperatures at heights 20–30 km and with the export of ozone-poor polar air masses to the regions outside the polar vortex. In May 2011, ozone had returned to its multiyear seasonally average values.