

АППАРАТУРА И МЕТОДЫ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 551.510.42

Спектральные наблюдения изменений общего содержания озона в Обнинске и Томске

Г.А. Ивлев¹, Б.Д. Белан¹, В.М. Дорохов², Н.В. Тереб^{3*}

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

²Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета
141700, г. Долгопрудный, Московская обл., ул. Первомайская, 3

³Институт экспериментальной метеорологии НПО «Тайфун»
249038, г. Обнинск, Калужская обл., ул. Победы, 4

Поступила в редакцию 25.12.2012 г.

Общее содержание озона (ОСО) играет существенную роль в понимании процессов, происходящих в атмосфере и изменениях климата. В весенний период в марте–апреле 2011 г. в г. Томске (56,5° с.ш., 85,1° в.д.) зарегистрированы аномальные потери ОСО. По сравнению с многолетними средними значениями озона понижение ОСО достигало 30–35%. На основе анализа данных измерений наземного спектрофотометра Brewer MKIV S/N 049, спутниковых и балонных данных зондирования атмосферы в г. Салехарде (66,5° с.ш., 66,7° в.д.) проведен анализ наблюдавшихся аномально низких значений ОСО. Анализ температурных данных нижней стратосферы свидетельствует о том, что наблюдавшаяся отрицательная аномалия общего содержания озона в марте–апреле 2011 г. над северными территориями России связана с перемещением воздушных масс с аномально низкими значениями озона в полярной стратосфере, переносом и смещением циркулярного вихря из Арктики в умеренные широты Западной и Центральной Сибири.

Ключевые слова: атмосфера, общее содержание озона, спектрофотометр, полярный вихрь, аномалия; atmosphere, total ozone, spectrophotometer, polar vortex, anomaly.

Введение

Наблюдения и оценка состояния озонового слоя проводятся с применением различных наземных, балонных и спутниковых приборных комплексов [1]. Для наземных наблюдений используют спектрофотометры Dobson [2–7], Brewer [8–19, 32, 35], французские спектрометры SAOZ [20–22] и фильтровые озонотометры M-124 [23, 24, 34]. Для выполнения балонных измерений профилей вертикального распределения озона используются электрохимические озонотометры ЕСС разных модификаций (2Z-ЕСС, 2Z-V7, ЕСС6А) [25–32]. Спутниковый мониторинг пространственного и высотного распределения проводится с помощью различных комплексов атмосферного мониторинга, таких как OMI, TOMS, GOME-2, SCIAMACHY и др. Обзор спутниковых данных в настоящей статье не производится.

Для наземных измерений общего содержания озона (ОСО) в России применяются фильтровые озонотометры M-124, спектрофотометры Brewer и Dobson,

разработанные недавно в Санкт-Петербурге спектральные приборы для наблюдений озона и солнечной УФ-радиации. Спектрофотометр Brewer S/N 107 установлен в Центральной аэрологической обсерватории (г. Долгопрудный), Dobson S/N 108 – на ст. Воейково Главной геофизической обсерватории для озонных наблюдений и является вторичным эталоном для привязки и оценки качества данных измерений ОСО на озонотометрической сети станций РФ. Фильтровые озонотометры M-124 используются на наблюдательной сети станций, работу которых организует и обеспечивает Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

Наблюдения ОСО проводятся по прямому Солнцу (приемная часть спектрофотометра направлена на солнечный диск) и зениту неба. Данные измерений ОСО на станциях Российской озонотометрической сети регулярно представляются и обновляются в мировой базе озонных данных WOUDC http://www.woudc.org/index_e.html. В настоящее время на территории РФ используются три спектрофотометра Brewer, а на мировой сети – более 100 приборов Brewer моделей MKII, MKIV и их модификаций. Сейчас выпускаются приборы Brewer модели MKIII фирмы Kipp&Zonen (<http://www.kippzonen.com/>). Спектрометр SAOZ выполняет измерения ОСО

* Георгий Алексеевич Ивлев (ivlev@iao.ru); Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Валерий Михайлович Дорохов (vdor@starlink.ru); Николай Васильевич Тереб (tereb@typhoon.obninsk.ru).

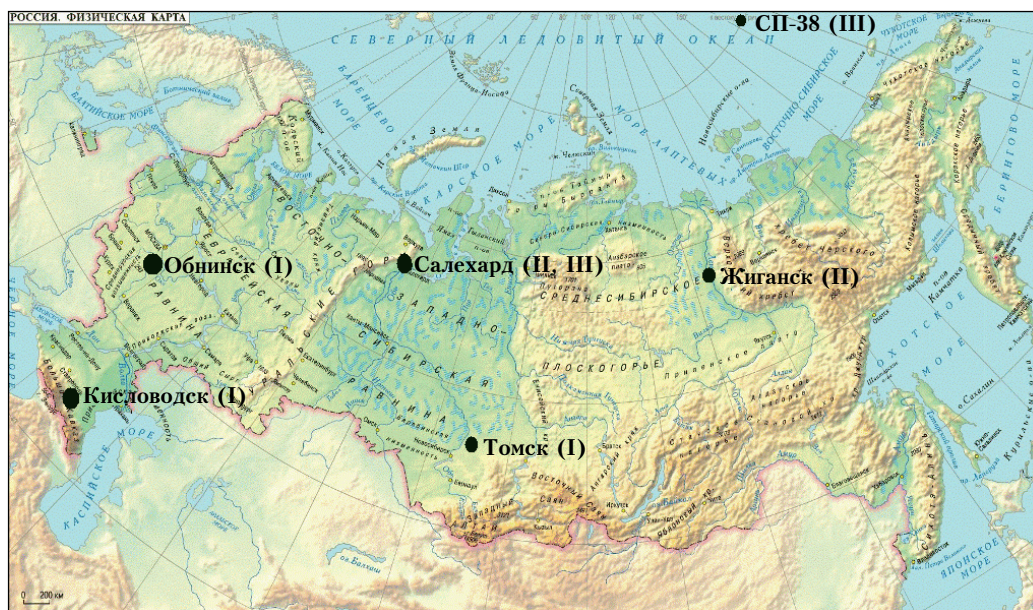


Рис. 1. Карта расположения приборов Brewer (I), SAOZ (II) и пунктов проведения балонных измерений профилей вертикального распределения озона (III) на территории Российской Федерации в 2011 и 2012 гг.

и двуокиси азота NO_2 в ультрафиолетовом и видимом диапазонах длин волн. Результаты наблюдений ОСО и NO_2 спектрометрами SAOZ представляются в режиме реального времени в базе данных NDACC (<http://saoz.obs.uvsq.fr/SAOZ-RT.html>). Расположение озонметрических приборов, данные которых использовались при написании настоящей статьи, показано на рис. 1.

Первые наблюдения значительной озоновой аномалии в полярных широтах над территорией России относятся к 1995 г. В зимне-весенний период этого года над территорией Восточной Сибири уровень ОСО в феврале–марте был на 25–30% ниже многолетних средних значений общего содержания озона [17]. В это же время в г. Якутске было начато балонное озоновое зондирование нижней стратосферы до высоты 30 км. Наблюдения параметров озонового слоя в полярных широтах Российского сектора Арктики были продолжены и в последующие годы [26, 27]. Аномалия озона в зимне-весенний период 2011 г. вновь привлекла всеобщее внимание в связи с рекордным уровнем озоновых потерь и увеличением уровней биологически активной УФ-радиации в весенний период [33]. В 2011 г. зарегистрирована максимальная отрицательная аномалия общего содержания озона в Арктике. Если в предыдущих случаях потери озона в Арктике весной не превышали 30%, то в марте–апреле 2011 г. они достигли 40% [33]. Весенняя аномалия ОСО в высоких широтах Арктики 2011 г. является на данный момент самой значительной озоновой аномалией в Северном полушарии за все время более чем полувековых наблюдений. Возникновение такой аномалии в высоких широтах Северного полушария в 2011 г. свидетельствует о том, что ряд механизмов, ответственных за поведение озонового слоя, подвержен заметным отклонениям от средних условий и, следовательно,

долговременная эволюция состояния этого слоя должна рассматриваться как часть многолетней эволюции климатической системы Земли в целом. Величина химических потерь ОСО в газофазных и гетерофазных реакциях внутри полярного циклона зимой 2010/11 г. составила по разным оценкам 130–150 е.Д. — это рекордная величина потерь озона за весь период наблюдений в Арктике. Предыдущий максимум потерь ОСО наблюдался в зимне-весенний период 2005 г. и составлял 116 е.Д.

В настоящей статье представлены результаты десятилетних наблюдений общего содержания атмосферного озона в г. Томске и Обнинске, полученные с использованием спектрофотометра Brewer MKVI, а также анализируются данные измерений ОСО во время появления и развития отрицательной аномалии озона в зимне-весенний период 2011 г.

Аппаратура

В г. Томске (56,5° с.ш., 85,1° в.д.) осенью в 2003 г. был установлен и начал эксплуатироваться спектрофотометр Brewer MKIV S/N 049. При измерении общей приходящей радиации в ультрафиолетовой области спектра сканирование происходит с шагом 0,5 нм в диапазоне длин волн 290–325 нм. За время, равное 5 мин 25 с, производится проход в обе стороны и получаются два значения на каждой длине волны. Итоговым результатом является спектр, полученный из среднеарифметических значений. Для определения ОСО используются измерения по зениту или прямому солнцу на следующих длинах волн: 306,3; 310,3; 313,5; 316,8; 320,0 нм. Разрешение на всех длинах волн 0,6 нм, стабильность по всей температурной области измерений $\pm 0,01$ нм. Точность задания длины волны ($0,006 \pm 0,002$) нм. Программное обеспечение позволяет получать спектральное

распределение УФ-радиации и интегральные значения в заданной области спектра. Спектрофотометр Brewer S/N 049 в 1990–1994 гг. использовался специалистами ЦАО на о. Хейса, Земля Франца-Иосифа для наблюдений ОСО и двуокиси азота в высоких полярных широтах Арктики. В связи с закрытием этой станции наблюдений атмосферных параметров в 1994 г. спектральный прибор был законсервирован, вывезен в г. Долгопрудный и впоследствии передан ИОА СО РАН для совместных работ по наземным наблюдениям параметров озонового слоя и солнечной УФ-радиации. За период измерений общего содержания озона в Томске в 2003–2012 гг. спектрофотометр проходил техническое обслуживание и калибровку по вторичному канадскому эталонному спектрофотометру Brewer MKII S/N 017 в Институте экспериментальной метеорологии НПО «Гай-фон» в г. Обнинске.

Результаты наблюдений

На рис. 2 приведены результаты измерений ОСО спектрофотометром Brewer MKIV 049 в Томске в 2003–2012 гг. (рис. 2, *а*) и данные наблюдений ОСО спектрофотометром Brewer MKII S/N 044 в г. Обнинск в 2003–2012 гг. (рис. 2, *б*).

Сплошная линия на обоих графиках является скользящей средней суточных значений с периодом осреднения в 31 день. Из графиков отчетливо видно, что для обоих пунктов измерений 2011 г. выпадает из общей картины, при этом отклонения для г. Томска более значительны. На рис. 3 показан годовой ход (сплошные линии) общего содержания озона в 2011 г. по данным наблюдений с помощью действующих на территории нашей страны спектрофотометров Brewer, установленных в гг. Томске, Обнинске (55,1° с.ш., 36,3° в.д.), Кисловодске (43,7° с.ш., 42,7° в.д.), а также спектрометра SAOZ в г. Салехарде (66,5° с.ш., 66,7° в.д.).

Столь низкие значения ОСО (обведены кружками) в весенний период отмечены в Центральной

Сибири и на европейской территории России впервые за все время проведения наблюдений в Томске и Обнинске в течение 10-летнего периода измерений. В Томске озоновая аномалия наблюдалась почти 2 нед в апреле 2011 г. (рис. 3, *а*), в Обнинске в этот же месяц (рис. 3, *б*) мы видим ее проявление в меньшей степени и в течение всего нескольких дней. Для сравнения приведены уровни ОСО в Кисловодске (рис. 3, *в*), который значительно южнее двух других пунктов измерений, и в г. Салехарде (рис. 3, *б*), который находится севернее Томска. Здесь мы не наблюдаем понижения ОСО. В начале мая 2011 г. уровни ОСО в Томске и Обнинске вернулись к обычным значениям.

Анализ данных измерений

В марте–апреле 2011 г. аномальное понижение ОСО над Томском зарегистрировано и фильтровым озонометром М-124. По сравнению с многолетними средними значениями ОСО понижение достигало 30%. Понижение ОСО над северными районами России было связано с деструкцией озона в полярной стратосфере вследствие аномально низких температур на высотах 20–30 км [36]. Столь существенное снижение уровней ОСО отмечено на ряде станций озонометрической сети России, расположенных в полярных широтах Сибири и Дальнего Востока [34]. Данные об аномально низких величинах общего содержания озона в высоких широтах северных полярных районов приводятся в мировой базе данных ОСО в Торонто (WOUDC) для Финляндии, Норвегии, Швеции, Гренландии, Канады, США и других стран, расположенных и примыкающих к полярным районам Северного полушария.

Общее содержание озона на арктической станции Саммит в Гренландии составило 259 е.Д. 28 марта 2011 г. при норме 370 е.Д. в обычные годы. Значения ОСО в Скандинавии во второй половине марта 2011 г. составляли от 255 до 285 е.Д. на полярной станции Соданкула на севере Финляндии, 242 е.Д.

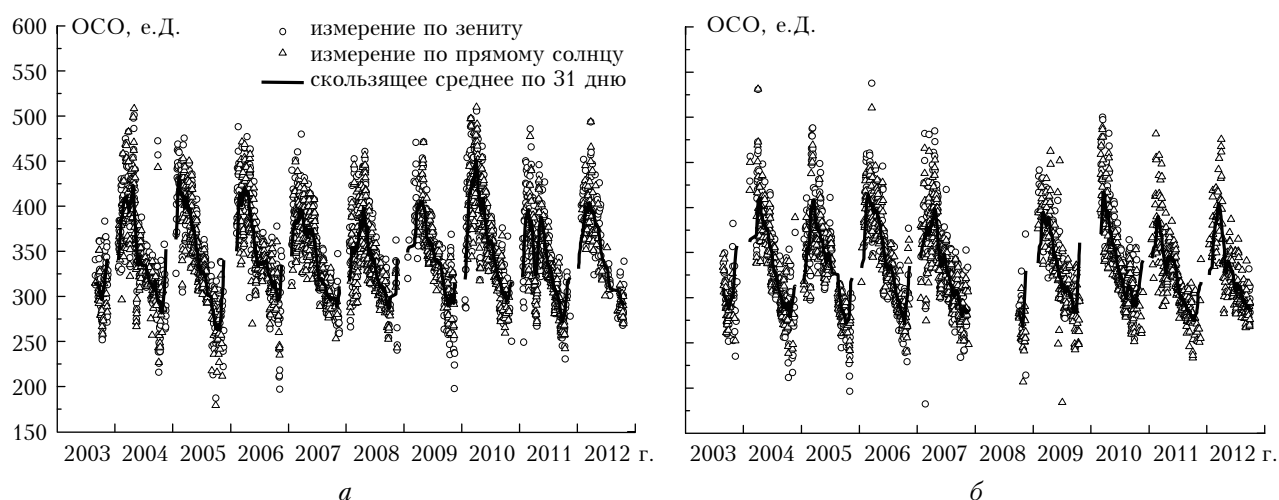


Рис. 2. Результаты измерений ОСО спектрофотометрами Brewer MKIV S/N 049 в г. Томске (*а*) и Brewer MKII S/N 044 в г. Обнинске (*б*) в 2003–2012 гг.

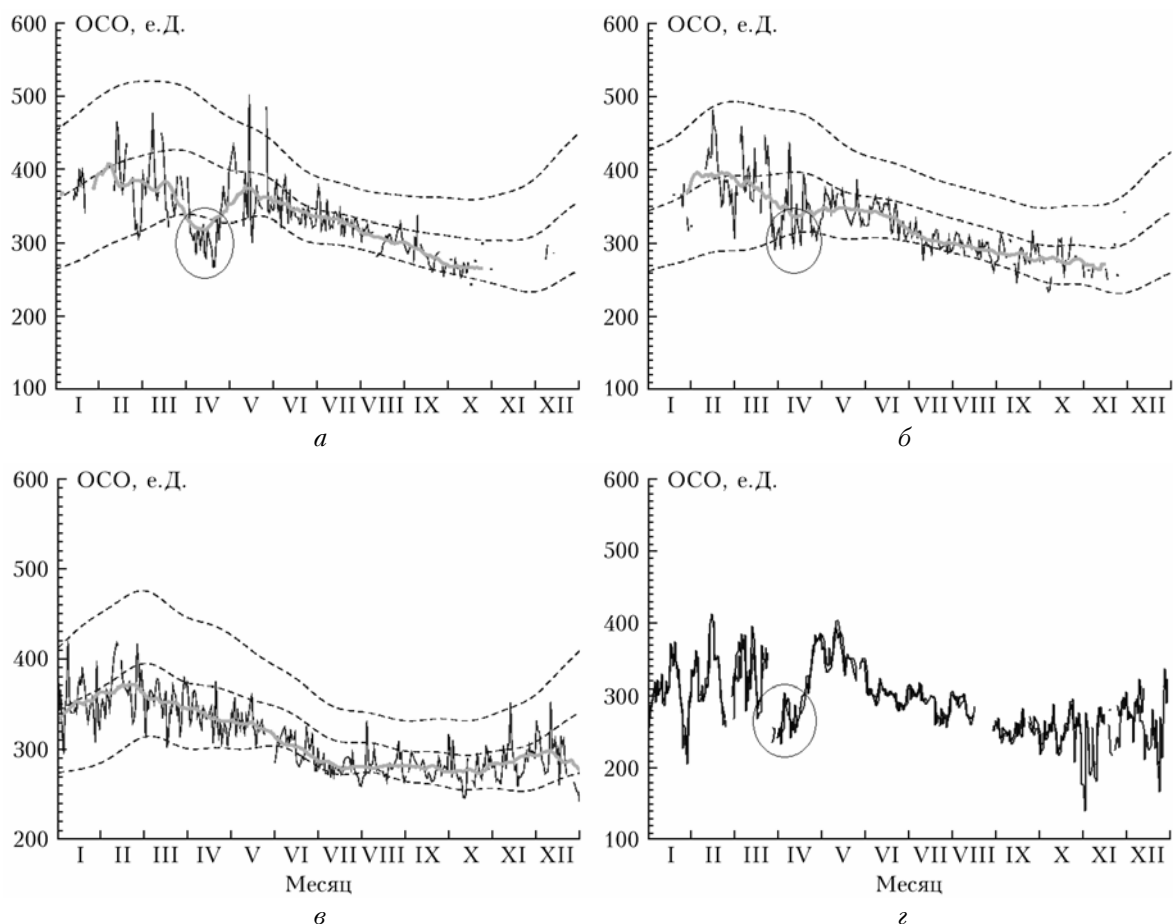


Рис. 3. Данные измерений ОСО (сплошные линии), полученные спектрофотометром Brewer MKIV S/N 049 в Томске (а), Brewer KII S/N 044 в Обнинске (б), Brewer MKII S/N 043 в Кисловодске (в) и спектрометром SAOZ в Салехарде (з). Средняя штриховая линия — средние многолетние значения ОСО для данного региона, верхние и нижние штриховые линии — отклонения от среднего значения $\pm 2\sigma$. Материал и данные взяты с сайтов <http://woudc.ec.gc.ca>, <http://saoz.obs.uvsq.fr>

1 апреля 2011 г. на ст. Салехард на Северном полярном круге. Измерения ОСО спектрофотометром Brewer в г. Томске показали стабильно низкие значения ОСО на уровне 270–288 е.Д. с 8 по 15 апреля 2011 г.

Для оценки высотного профиля потерь озона в зимне-весенние периоды 2011 и 2012 гг. проведены специальные запуски электрохимических озонзондов модели 2Z-ECC. На рис. 4 (цв. вклейка) показано расположение озоновой депрессии в середине апреля 2011 г., когда распадающийся полярный циклон располагался над северными территориями Западной и Центральной Сибири.

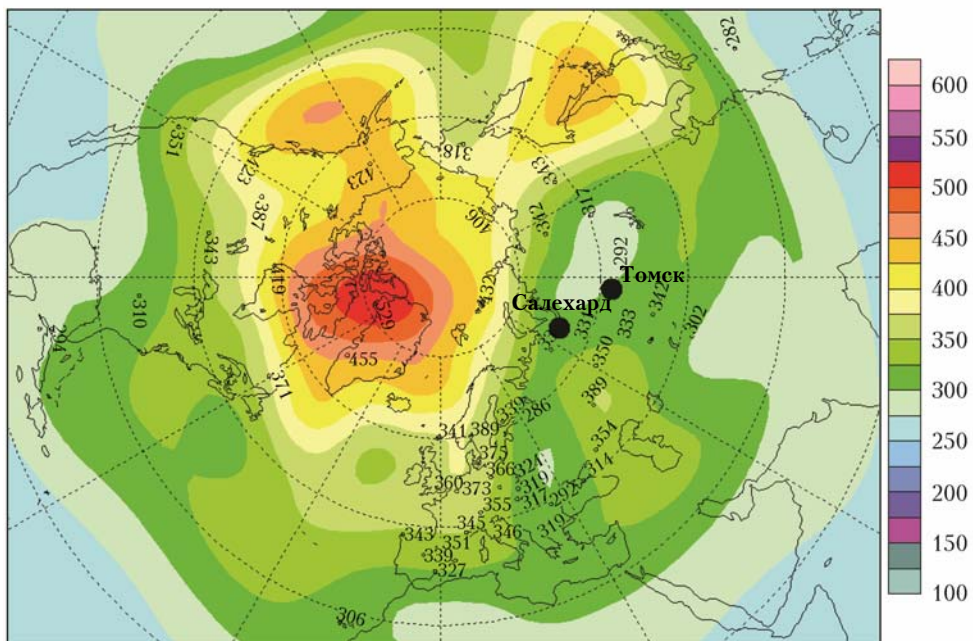
На рис. 4, а представлена карта расположения области низких значений ОСО в Северном полушарии для 13 апреля 2011 г., когда полярный вихрь располагался над западной частью азиатской территории нашей страны и спектрофотометр Brewer S/N 049 регистрировал низкие значения ОСО над Томском. В настоящее время аэрологическая станция Салехард является единственным местом в России, где выполняются пуски озонзондов (в 2013 г. планируется осуществить запуск 30 озонзондов с полярной станции СП-40), проводятся наблюдения

и изучаются процессы изменения озонового слоя в полярных районах нашей страны.

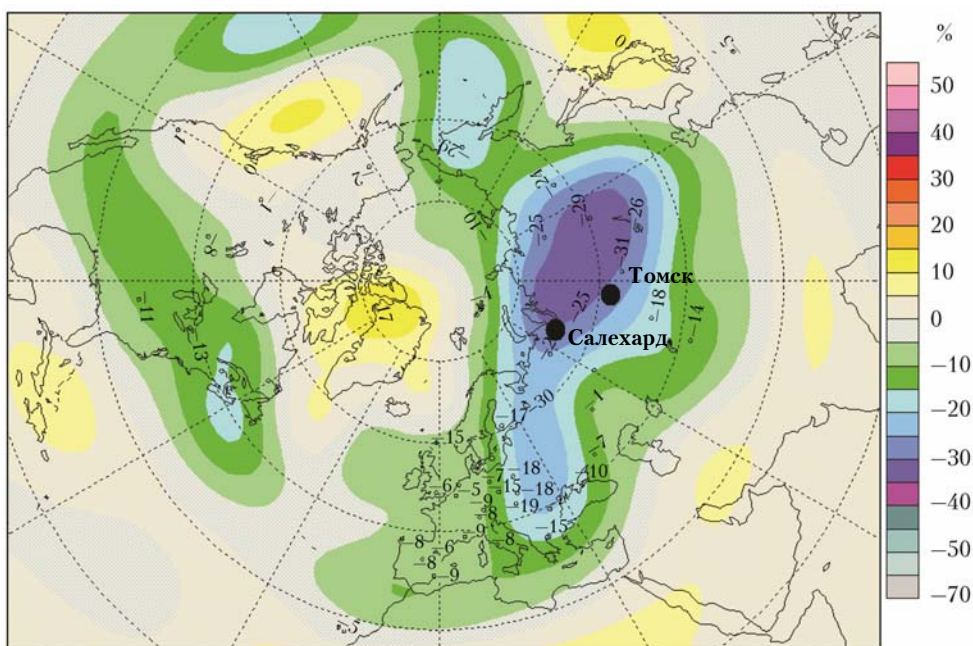
В марте–апреле 2011 г. была проведена серия таких скоординированных запусков озонзондов 2Z-ECC на аэрологической станции Салехард (рис. 5, а). Полученные данные с помощью озонзондов в период 15 марта – 19 апреля 2011 г. свидетельствуют о том, что здесь произошло anomальное понижение концентрации атмосферного озона. Из полученных данных о вертикальных профилях озона отчетливо видно, что произошли потери озона в нижней стратосфере на высоте 17–21 км. Максимальные потери озона произошли на высоте 18–20 км, а сами потери на этом достаточно узком высотном участке составили 60–70%.

Результаты балонного зондирования вертикального распределения озона (ВРО) над Салехардом в феврале 2012 г. (рис. 5, б) не показали заметных изменений профилей озона по сравнению с его обычным распределением. Данные измерений ОСО спектрофотометром Brewer S/N 049 в зимне-весенний период этого года в г. Томске соответствовали климатической норме, и каких-либо отклонений нами не наблюдалось. Все данные пусков электрохимических

ОСО, е.Д.



a



б

Рис. 4. Карта значений ОСО в Северном полушарии для 13 апреля 2011 г. (а); карта отклонений ОСО от климатической нормы с указанием места расположения спектрофотометра Brewer MKIV S/N 049 в Томске и место расположения аэрологической станции г. Салехард (б). (Исходные карты ОСО и его отклонений от климатической нормы см. на сайте WUODC по адресу http://www.woudc.org/data_e.html)

озонзондов Z2-ECC в Салехарде в зимне-весенние периоды 2005–2012 гг. доступны в базе данных Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC) по адресу <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/ndacc/station/salekhar/ames/o3sonde/>.

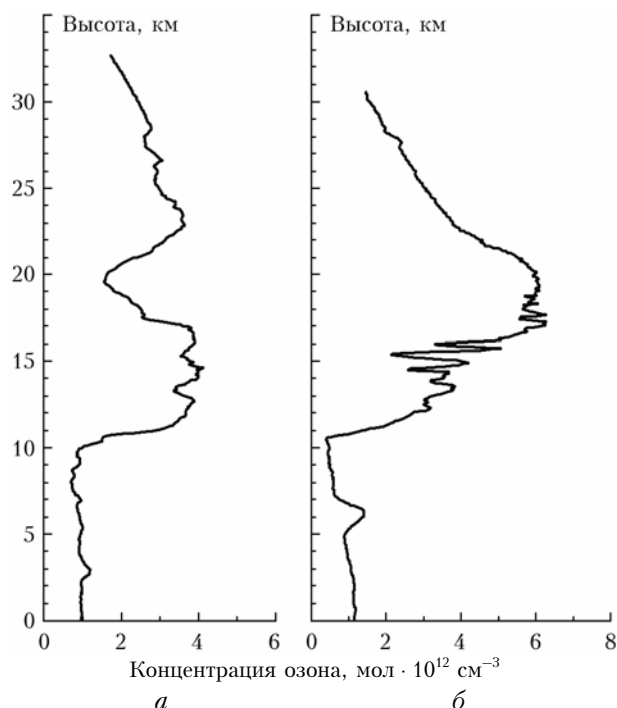


Рис. 5. Профили вертикального распределения озона над аэрологической станцией Салехард по данным выпусков электрохимического озонзонда Z2-ECC 13 апреля 2011 г. (а) и 26 февраля 2012 г. (б) (доступны в базе данных NDACC <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/ndacc/station/salekhar/ames/o3sonde/>)

Заключение

В ходе проведенного мониторинга получен десятилетний ряд высокоточных спектральных данных по общему содержанию озона на территории Западной Сибири в г. Томске с использованием спектрофотометра Brewer S/N 049, откалиброванного по вторичному эталонному прибору Brewer. Результаты измерений ОСО внесены ЦАО в базу данных Мировой сети станций наблюдения озона WOUDC.

По данным измерений ОСО спектрофотометром Brewer S/N 049 проведено сравнение спутниковых данных и наземных наблюдений общего содержания озона в г. Томске. Для интерпретации полученных данных об изменении озона в 2011–2012 гг. привлечены результаты измерений озона спектрометрами SAOZ и данные балонного зондирования атмосферы на аэрологической станции Салехард. Работы выполнены по программе международного сотрудничества в рамках проекта Match по балонному зондированию в нижней стратосфере в Арктике совместно с японскими учеными из National Institute for Environmental Studies (Tsukuba, Japan) и немецкими специалистами из Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (Potsdam, Germany). Резуль-

таты этих наблюдений представлены в базе данных NDACC.

Анализ температурных данных нижней стратосферы свидетельствует о том, что наблюдавшаяся отрицательная аномалия общего содержания озона в марте–апреле 2011 г. над северными территориями России связана с перемещением воздушных масс с аномально низкими значениями озона в полярной стратосфере, переносом и смещением циркумполярного вихря из Арктики в умеренные широты Центральной и Восточной Сибири. По сравнению с многолетними средними значениями озона понижение ОСО в г. Томске достигало 30–35% в течение 2 нед с 5 по 20 апреля 2011 г.

Авторы выражают благодарность специалистам International Ozone Services Incorporated, Торонто, Канада за очередную калибровку спектрофотометров Brewer MKIV S/N 043, 044, 049 по передвижному вторичному эталонному прибору Brewer, проведенную в г. Обнинске 13–18 сентября 2012 г.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35, 70 и 131, грантов РФФИ № 11-05-00470, 11-05-00516, 11-05-93116 и 11-05-93118, госконтрактов Минобрнауки № 11.519.11.5009, 11.518.11.7045 и 8325, Договора о научно-техническом сотрудничестве между ИОА СО РАН и ЦАО.

1. Еланский Н.Ф. Исследования атмосферного озона в России в 2003–2006 гг. // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2009. Т. 45, № 2. С. 218–231.
2. Komhyr W.D. Dobson spectrophotometer systematic total ozone measurement error // Geophys. Res. Lett. 1980. V. 7, N 2. P. 161–163.
3. Komhyr W.D., Evans R.D. Dobson spectrophotometer total ozone measurement error caused by interfering absorbing species such as SO₂, NO₂ and photochemically produced O₃ in polluted air // Geophys. Res. Lett. 1980. V. 7, N 2. P. 157–160.
4. Komhyr W.D., Grass R.D., Leonard R.K. Dobson Spectrophotometer 83: A standard for total ozone measurements, 1962–1987 // J. Geophys. Res. D. 1989. V. 94, iss. 7. P. 9847–9861.
5. Evans R.D. Operations Handbook – Ozone Observations with a Dobson Spectrophotometer – revised version // NOAA/ESRL Global Monitoring Division. 1994.
6. Stanek M., Vanicek K. Application of Dobson Zenith Polynomial for Different Instruments, Locations and Season // Proc. the XVIII Quadren. Ozone Sympos. 12–21 September 1996. L'Aquila, Italy. Edited by R.D. Bojkov and G. Visconti. 1998. P. 979–982.
7. Köhler U., Claude H. Homogenized ozone records at Hohenpeissenberg // Proc. the XVIII Quadren. Ozone Sympos. 12–21 September 1996. L'Aquila, Italy. Edited by R.D. Bojkov and G. Visconti. 1998. P. 57–60.
8. Kerr J.B., McElroy C.T., Olafson R.A. Measurements of total ozone with the Brewer spectrophotometer // Proc. the Quadren. Int. Ozone Sympos., 4–9 August 1980. Boulder, Colorado, USA. Edited by J. London. 1981. P. 74–79.
9. Kerr J.B., McElroy C.T., Wardle D.I., Olafson R.A., Evans W.F.J. The automated Brewer spectrophotometer // Proc. the Quadren. Ozone Sympos. 3–7 September 1984. Halkidiki, Greece. Edited by C.S. Zerefos and A. Ghazi. 1995. P. 396–401.

10. Kerr J.B., Asbridge I.A., Evans W.F.J. Intercomparison of total ozone measured by the Brewer and Dobson spectrophotometers at Toronto // *J. Geophys. Res. D*. 1988. V. 93, N 9. P. 11129–11140.
11. Дорохов В.М. Наблюдения общего содержания озона в Арктике на о. Хейса (81° с.ш.) зимой 1989 г. // *Оптика атмосфер. и океана*. 1990. Т. 3, № 1. С. 102–106.
12. Kerr J.B., McElroy C.T., Wardle D.I., Dorokhov V.M. Measurements of Arctic Total Ozone during the Polar Winter // *Atmosphere–Ocean*. 1990. V. 28, N 4. P. 383–392.
13. Дорохов В.М., Долгий С.В., Иванов Ю.С., Ситникова В.И. Наблюдения общего содержания атмосферного озона в Арктике в период полярной ночи 1991 г. // *Оптика атмосфер. и океана*. 1991. Т. 4, № 8. С. 852–855.
14. Дорохов В.М., Фиолетов В.Е., Ситникова В.И. Вариации общего содержания озона и двуокси азота в атмосфере Арктики в условиях полярной ночи 1989/90 и 1990/91 // *Метеорол. и гидрол.* 1992. № 6. С. 54–59.
15. Kerr J.B., McElroy C.T. Evidence for Large Upward Trends of Ultraviolet-B Radiation Linked to Ozone Depletion // *Science*. 1993. V. 262, N 5136. P. 1032–1034.
16. Дорохов В.М., Потапова Т.Е. Наблюдения общего содержания атмосферного озона в высоких арктических широтах // *Оптика атмосфер. и океана*. 1995. Т. 8, № 6. С. 868–872.
17. Дорохов В.М., Потапова Т.Е., Гутайл Ф., Поммеро Ж.-П. Исследования отрицательной аномалии общего содержания озона в области восточносибирского озонного максимума в зимне-весенний период 1995 г. // *Метеорол. и гидрол.* 1996. № 6. С. 53–62.
18. Нерушев А.Ф., Терев Н.В. Сравнение наземных и спутниковых измерений экспозиций приземной ультрафиолетовой радиации для Центрально-Европейского региона России // *Исслед. Земли из космоса*. 2003. № 5. С. 35–42.
19. Dorokhov V., Sitnikova V., Ivlev G. Observations of ozone variability over Siberia: 1992–2004 // *Proc. the XX Quadren. Ozone Sympos.* 1–8 June 2004. Kos, Greece. Edited by C.S. Zerefos. 2004. P. 331.
20. Pommereau J.P., Goutail F. O₃ and NO₂ ground-based measurements by visible spectrometry during Arctic winter and spring 1988 // *Geophys. Res. Lett.* 1988. N 15(8). P. 891–894. doi: 10.1029/GL015i008p00891.
21. Goutail F., Pommereau J.P., Sarkissian A., Kyrö E., Dorokhov V. Total nitrogen dioxide at the Arctic Polar Circle since 1990 // *Geophys. Res. Lett.* 1994. N 21(13). P. 1371–1374. doi: 10.1029/93GL01783.
22. Hendrick F., Pommereau J.-P., Goutail F., Evans R.D., Ionov D., Pazmino A., Kyrö E., Held G., Eriksen P., Dorokhov V., Gil M., Van Roozendaal M. NDACC/SAOZ UV-visible total ozone measurements: improved retrieval and comparison with correlative ground-based and satellite observations // *Atmos. Chem. Phys.* 2011. N 11. P. 5975–5995. doi: 10.5194/acp-11-5975-2011.
23. Гуцин Г.П., Соколенко С.А., Нерушев А.Ф., Васильев В.И., Шаламянский А.М., Привалов В.И. Сравнение и калибровка приборов для измерения ультрафиолетовой радиации в г. Обнинске 16–19 сентября 2001 г. // *Метеорол. и гидрол.* 2002. № 7. С. 94–101.
24. Шаламянский А.М. Озонометрическая сеть СНГ // *Метеорол. и гидрол.* 1993. № 9. С. 100–104.
25. Komhyr W.D., Lathrop J.A., Opperman D.P., Barnes R.A., Brothers G.B. ECC Ozone Sonde Performance Evaluation during STOIC 1989 // *J. Geophys. Res. D*. 1994. V. 100, N 5. P. 9231–9244.
26. Цветкова Н.Д., Накане Х., Лукьянов А.Н., Юшков В.А., Дорохов В.М., Зайцев И.Г., Ситникова В.И. Оценка скорости убывания озона в стратосферном арктическом циклоне в зимне-весенний период по данным баллонных измерений в Сибири в 1995–2000 гг. // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана*. 2002. Т. 38, № 2. С. 211–219.
27. Юшков В.А., Накане Х., Цветкова Н.Д., 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.
28. Цветкова Н.Д., Юшков В.А., Лукьянов А.Н., Дорохов В.М., Накане Х. Рекордное химическое разрушение озона в Арктике зимой 2004/2005 г. // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана*. 2007. Т. 43, № 5. С. 643–650.
29. Rex M., Harris N.R.P., von der Gathen P., Lehmann R., Braathen G.O., Reimer E., Beck A., Chipperfield M.P., Alfier R., Allaart M., O'Connor F., Dier H., Dorokhov V., Fast H., Gil M., Kyrö E., Litynska Z., Mikkelsen I.S., Molyneux M.G., Nakane H., Notholt J., Rummukainen M., Viatte P., Wenger J. Prolonged stratospheric ozone loss in the 1995/96 Arctic winter // *Nature (Gr. Brit.)*. 1997. V. 389. P. 835–838. doi: 10.1038/39849.
30. Rex M., Salawitch R.J., Harris N.R.P., von der Gathen P., Braathen G.O., Schulz A., Deckelmann H., Chipperfield M., Simmler B.-M., Reimer E., Alfier R., Bevilacqua R., Hoppel K., Fromm M., Lumpe J., Källmann H., Kleinböhl A., Bremer H., von König M., Künzi K., Toohey D., Vömel H., Richard E., Aikin K., Jost H., Greenblatt J.B., Loewenstein M., Podolske J.R., Webster C.R., Flesch G.J., Scott D.C., Herman R.L., Elkins J.W., Ray E.A., Moore F.L., Hurst D.F., Romashkin P., Toon G.C., Sen B., Margitan J.J., Wennberg P., Neuber R., Allart M., Bojkov B.R., Claude H., Davies J., Davies W., De Backer H., Dier H., Dorokhov V., Fast H., Kondo Y., Kyrö E., Litynska Z., Mikkelsen I.S., Molyneux M.J., Moran E., Nagai T., Nakane H., Parrondo C., Ravagnani F., Skrivankova P., Viatte P., Yushkov V. Chemical depletion of Arctic ozone in winter 1999/2000 // *J. Geophys. Res. D*. 2002. V. 107, N 20. P. 8276–8290. doi: 10.1029/2001JD000533.
31. Rex M., Salawitch R.J., Deckelmann H., von der Gathen P., Harris N.R.P., Chipperfield M.P., Naujokat B., Reimer E., Allaart M., Andersen S.B., Bevilacqua R., Braathen G.O., Claude H., Davies J., De Backer H., Dier H., Dorokhov V., Fast H., Gerding M., Hoppel K., Johnson B., Kyrö E., Litynska Z., Moore D., Nagai T., Parrondo M.C., Risley D., Skrivankova P., Stübi R., Trepte C., Viatte P., Zerefos C. Arctic winter 2005: Implications for stratospheric ozone loss and climate change // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33, N 23. L23808. doi: 10.1029/2006GL026731.
32. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Складнева Т.К. Вариации ультрафиолетовой В-радиации в Томске в 2003–2007 гг. // *Оптика атмосфер. и океана*. 2008. Т. 21, № 7. С. 619–624.
33. Manney G.L., Santee M.L., Rex M., Livesey N.J., Pitts M.C., Veefkind P., Nash E.R., Wohltmann I., Lehmann R., Froidevaux L., Poole L.R., Schoeberl M.R., Haffner D.P., Davies J., Dorokhov V., Gernandt H., Johnson B., Kivi R., Kyrö E., Larsen N., Levelt P.F., Makshtas A., McElroy C.T., Nakajima H., Parrondo M.C., Tarasick D.W., von der Gathen P., Walker K.A., Zinoviev N.S. Unprecedented Arctic ozone loss in 2011 // *Nature (Gr. Brit.)*. V. 478. P. 469–475. doi: 10.1038/nature10556.
34. Баженов О.Е., Бурлаков В.Д. Аномальное понижение уровня общего содержания озона над Томском и северной территорией России в марте–апреле 2011 г. // *Оптика атмосфер. и океана*. 2011. Т. 24, № 10. С. 515–519.

35. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Складнева Т.К. Влияние города на приходящую ультрафиолетовую радиацию по результатам многолетнего мониторинга в районе Томска // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 12. С. 1113–1119.
36. Баженов О.Е. Оценка влияния влажности и температуры в стратосфере на возникновение озоновой аномалии весной 2011 г. в Арктике и над северной территорией России // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 7. С. 589–593.

G.A. Ivlev, B.D. Belan, V.M. Dorokhov, N.V. Tereb. **Spectral observations of the total ozone content variation in Obninsk and Tomsk in 2011 and 2012.**

The total ozone plays an important role in understanding the processes occurring in the atmosphere and climate changes. In the spring, between March and April 2011 in the city of Tomsk (56.5°N, 85.1°E) reported anomalous ozone losses. In comparison with the long-term mean values of ozone reduction the ozone losses reached 30–35%. Based on the analysis of measurements of a ground-based spectrophotometer Brewer MKIV S/N 049, satellite and balloon data of ozone sounding in Salekhard (66.5°N, 66.7°E), the analysis of the observed anomalously low values of the total ozone was given. Analysis of the temperature data of the lower stratosphere indicates that the observed negative anomaly of total ozone in March–April 2011 over the northern parts of Russia was connected with the movement of air masses with abnormally low values of ozone in the polar stratosphere, relocation and displacement of the polar vortex from the Arctic to midlatitudes in Western and Central Siberia.