

УДК 551.510.5

Суточная динамика вертикального распределения озона в пограничном слое атмосферы в районе Томска

П.Н. Антохин, В.Г. Аршинова, М.Ю. Аршинов, Б.Д. Белан,
С.Б. Белан, Д.К. Давыдов, А.В. Козлов, О.А. Краснов,
О.В. Праслова, Т.М. Рассказчикова, Д.Е. Савкин,
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 9.04.2013 г.

По результатам самолетного зондирования рассматривается динамика вертикального распределения озона в пограничном слое атмосферы. Измерения производились с борта самолета Ан-2. В течение 2011–2012 гг. в характерные сезоны года (зима, весна, лето) проведено 6 самолетных зондирований вертикального распределения озона в пограничном слое атмосферы над постом Березоречка Томской области. Показано, что в период активной фотохимической генерации озона в пограничном слое атмосферы наблюдается заметный суточный ход, который определяется его образованием *in situ*. При этом в период активного турбулентного обмена в верхней части пограничного слоя наблюдаются нисходящий поток за счет вовлечения озона из свободной атмосферы, в нижней его части – выраженный восходящий поток, который обусловлен генерацией озона из газов-предшественников.

Ключевые слова: атмосфера, воздух, вертикальное распределение, газы, пограничный слой; *atmosphere, air, vertical distribution, gases, boundary layer.*

Введение

Пограничный слой регулирует потоки энергии, количества движения и перенос примесей между подстилающей поверхностью и свободной тропосферой [1]. В ночное время примеси накапливаются во внутреннем слое перемешивания, а при его разрушении после восхода Солнца, за счет усиления турбулентного обмена, распространяются внутри всего пограничного слоя атмосферы (ПСА) [2, 3]. Важность динамики пограничного слоя для состояния атмосферы обуславливает и особый интерес к его изучению. Изучение проводится как с позиций климатических обобщений [4–9], так и с позиций анализа его отдельных характеристик или элементов [10–13].

Несмотря на длительную историю исследования строения пограничного слоя и распределения в нем газовых и аэрозольных компонентов, многие аспекты проблемы остаются не до конца понятными [1].

Так, в частности, в [14–17] показано, что распределение озона в ПСА имеет хорошо выраженный максимум концентрации и заметную суточную динамику, которую связывают с фотохимической генерацией озона из соединений, поступающих в ПСА с подстилающей поверхности.

В то же время ряд авторов [18–22], которые проводят эксперименты на пассажирских самолетах гражданской авиации, проекты MOZAIC, CARIBIC и CONTRALL, отрицают наличие максимума концентрации в ПСА и заметного суточного хода в нем. Возможно, это происходит потому, что взлет и посадка гражданских самолетов производятся в районе больших аэропортов, где интенсивное воздушное движение и много выбросов газообразных примесей, на которые стекает озон.

Вместе с этим, несмотря на обилие исследований вертикального распределения озона, в литературе нет четкого описания его суточной динамики в ПСА. По полученным в ходе отдельных экспериментов данным видно, что независимо от периода суток дневное увеличение концентрации озона в ПСА никак нельзя объяснить его поступлением из стратосферы или вышележащих слоев, поскольку там концентрации ниже [23]. Объем образовавшегося озона (разница между дневной и вечерней концентрациями) увеличивается в теплое время года, когда в воздух поступает много озонаобразующих веществ и имеется значительный приток солнечной радиации. Протяженность

* Павел Николаевич Антохин (arn@iao.ru); Виктория Геннадьевна Аршинова (arvni@iao.ru); Михаил Юрьевич Аршинов (michael@iao.ru); Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Сергей Борисович Белан; Денис Константинович Давыдов (denic@iao.ru); Артем Владимирович Козлов (artem@iao.ru); Олег Александрович Краснов (krasnov@iao.ru); Ольга Викторовна Праслова (rov@iao.ru); Татьяна Михайловна Рассказчикова (rtm@iao.ru); Денис Евгеньевич Савкин (densavkin@gambler.ru); Геннадий Николаевич Толмачев (tgn@iao.ru); Александр Владиславович Фофонов (alenfo@iao.ru).

слоя, в котором наблюдается увеличение концентрации озона, пропорциональна высоте ПСА. Высота максимума концентрации заметно меняется и наиболее вероятно, что зависит от высоты поступления озonoобразующих веществ, как это акцентировано в [24, 25].

Неопределенность в понимании механизма формирования вертикального распределения озона в ПСА приводит к тому, что по-разному интерпретируется и дневной максимум суточного хода приземной концентрации озона. При этом одни авторы считают, что основной вклад в проявление дневного максимума вносит его фотохимическое образование в ПСА из газов-предшественников, поступающих с подстилающей поверхности [26–29]. Другие полагают, что дневной максимум образуется за счет переноса из вышележащих слоев тропосферы, куда он поступает из стратосферы [30–32]. В специально проведенном исследовании было показано, что перенос озона из стратосферы в приземный слой происходит очень медленно и изменяется в пределах от 0,16 до 0,71 см/с [33]. Это значительно меньше, чем скорость турбулентного переноса примесей в ПСА в дневное время.

Целью настоящей статьи является экспериментальное исследование суточной динамики вертикального распределения озона в пограничном слое атмосферы.

Оборудование и методы исследования

Для измерения параметров ПСА был создан измерительный комплекс на базе самолета Ан-2. Он имеет следующие основные характеристики, которые важны при проведении измерений в ПСА. Самолет способен поднять 1,5 т полезного груза. Скорость движения 150–190 км/ч. Дальность полета при полной загрузке около 1000 км. Максимальная высота подъема 4 км. Полное описание измерительного комплекса имеется в [34].

В связи с тем что ПСА характеризуется повышенным уровнем турбулентности, приводящим к флуктуации регистрируемых величин, полученные в ходе полета данные сглаживались для исключения пульсаций. Для этого был использован кригинг-алгоритм точечного типа для линейных вариограмм с наклоном $S = 1$ и анизотропией $A = 1$, который предоставил приемлемое сглаживание данных [35].

Начиная с июля 2010 г. комплекс использовался при проведении измерений вертикального распределения концентрации озона и углекислого газа в ПСА. Район экспериментов находится недалеко от д. Березоречка Томской области и удовлетворяет всем условиям, предъявляемым к фоновым исследованиям атмосферы. Профильные измерения проводятся над постом мониторинга парниковых газов Российско-Японского проекта TOWERS [36]. Пост представляет собой оснащенную исследовательским оборудованием мачту, расположенную внутри большого лесного массива на удалении 60 км от г. Томска (координаты: 54°08' с.ш. и 84°20' в.д.). Благодаря та-

кой комбинации удается получить профили концентраций озона от поверхности земли до высоты 3000 м в летний период и 2000 м в зимний.

Схема выполнения атмосферного зондирования также приведена в [34]. Взлет самолета производится с аэродрома Томского ДОСААФ (д. Головино). Затем он набирает максимальную высоту 3000 м летом или 2000 м зимой и выходит в район расположения мачты, где производится снижение по спирали до высоты 100 м над уровнем земли. После выполнения зондирования самолет возвращается на аэродром.

Для суточного цикла измерений использовалась следующая схема: первый полет осуществлялся сразу же после восхода Солнца; второй – в полдень, когда наблюдается максимум концентрации озона в приземном слое воздуха; третий – через 2–3 ч после полудня, когда максимум турбулентности должен наблюдаться вблизи верхней границы ПСА; четвертый – вечером, перед заходом солнца. Такая схема применялась в течение 2011–2012 гг. в характерные периоды года: зимой (минимум концентрации озона); во время весеннего первичного максимума концентрации озона в ПСА; летом (основной максимум концентрации озона); осенью, когда поступление в атмосферу озonoобразующих веществ уменьшается, но приток солнечной энергии все еще высок.

Результаты измерений и их обсуждение

Вначале дадим общую характеристику вертикальных профилей озона в ПСА, которые получены в ходе выполнения экспериментов в 2011–2012 гг. Они представлены на рис. 1.

Для более эффективного выявления суточной динамики озона при проведении экспериментов на территории района измерений выбирались синоптические условия, которые характерны для антициклонической погоды либо для малоградиентных полей.

Однако недельное планирование заявок на вылет самолета не всегда позволяло выдержать данное требование.

Первый эксперимент был выполнен 30 марта 2011 г. Все полеты прошли в условиях устойчивого антициклона. На рис. 1, *a* хорошо видна суточная динамика озона. В утренние и вечерние часы концентрации значительно меньше, чем в полдень и послеполуденное время, когда фотохимическое образование озона максимально. Причем из графика также следует хорошо известный из аэроклиматологии факт, что максимум концентраций на высотах должен запаздывать по отношению к наблюдениям в приземном слое воздуха на 2–3 ч.

Следующий эксперимент был выполнен 30 июня 2011 г. Он проходил в условиях малоградиентного поля повышенного давления. Прежде чем анализировать полученные вертикальные распределения, отметим, что не всегда, даже при очень хорошей подготовке, эксперимент проходит успешно. В данном

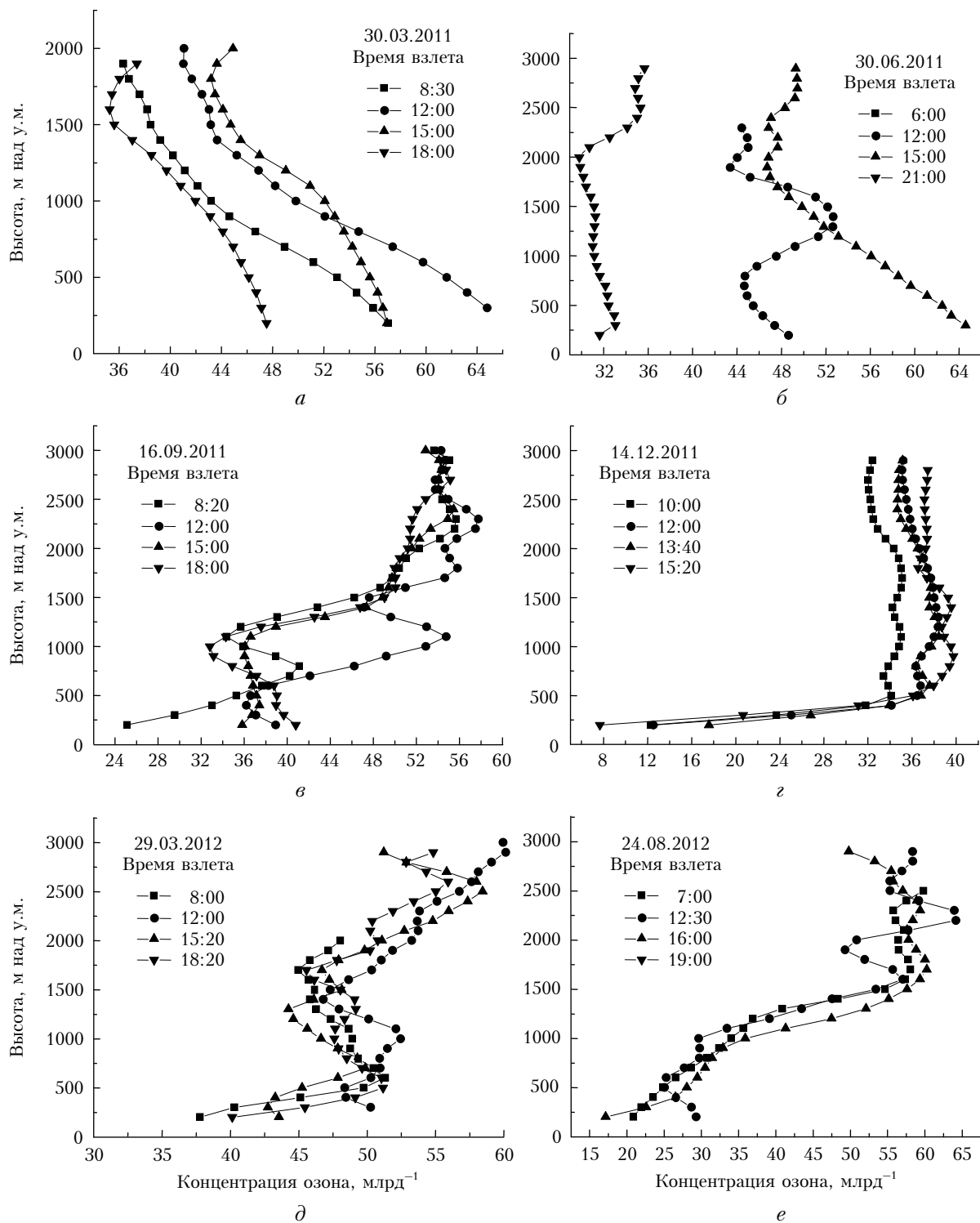


Рис. 1. Вертикальное распределение концентрации озона над д. Березоречка в 2011–2012 гг.

случае в первом утреннем полете вышел из строя озонметр. Поэтому на рис. 1, *б* утренний вертикальный профиль отсутствует, но так же, как и на рис. 1, *а*, виден заметный суточный ход концентрации озона в ПСА.

Третий эксперимент был проведен 16 сентября 2011 г. Он осуществлялся в антициклонических усло-

виях на западной периферии обширного антициклона. Полученные вертикальные профили приведены на рис. 1, *в*, из которого следует, что фотохимическая генерация озона проявилась вблизи полудня в пограничном слое под приподнятой инверсией и была достаточно интенсивной в приземном слое воздуха после разрушения утренней инверсии.

Эксперимент с зафиксированным минимумом концентрации озона в годовом ходе был проведен 14 декабря 2011 г. Синоптическая обстановка в этот день определялась обширным антициклоном с достаточно низкими температурами воздуха и мощной приземной инверсией. Из рис. 1, *г* видно, что в зимнее время года концентрации озона не выявляют значимого суточного хода в ПСА, хотя температура воздуха в приземном слое изменилась весьма значительно: от -26 до -19 °С. Изменения концентраций выше пограничного слоя незначительны и находятся в коридоре погрешностей прибора.

Как уже отмечалось, недельное планирование полетов не всегда позволяет «угадать» погоду, в которой должен хорошо проявляться суточный ход. Так, 29 марта 2012 г. по долгосрочному прогнозу предполагалась антициклоническая погода. На самом деле только первый полет удалось выполнить в таких условиях (рис. 2).

Затем началась перестройка барического поля. В результате через район атмосферного зондирования прошло два теплых фронта (рис. 3).

Конечно, смена воздушных масс нарушила обычно хорошо выраженный в циклоне суточный ход. В итоге первые три из полученных профилей отражают процесс фотохимической генерации озона, а вечерний – смену воздушной массы (см. рис. 1, *д*).

Шестой эксперимент выполнялся 24 августа 2012 г. в антициклональных условиях. В этот день температура воздуха имела заметную суточную динамику. В то же время измерения не выявляют суточной динамики концентрации озона в пограничном

слое. На рис. 1, *е* можно выделить какие-то суточные изменения только в приземном слое воздуха и вблизи верхней границы ПСА.

Если рассмотреть суточную динамику озона на посту мониторинга в д. Березоречка и на двух соседних постах непрерывных наблюдений за состоянием атмосферы: обсерватория «Фоновая» (расположена вблизи п. Киреевск, на расстоянии 30 км от Березоречки к северо-западу) и БЭК (находится от нее в 50 км на восток), то увидим, что в период эксперимента суточная амплитуда колебаний приземных концентраций здесь значительно уменьшилась (рис. 4). При этом наблюдаемые концентрации озона были также минимальны. По-видимому, на результатах наблюдений сказываются пока непонятные мезомасштабные процессы.

Для подтверждения этого предположения рассмотрим рис. 5, на котором приведен средний за 2010–2011 гг. годовой ход озона на 4 постах.

Из рис. 5 видно, что в пунктах мониторинга Березоречка и БЭК годовой ход заметно отличается от двух остальных, причем, судя по территории, явно не по территориальному признаку. Предполагается, что должны быть подобны Березоречка и обсерватория «Фоновая», а также БЭК и ТОР, поскольку попарно находятся в сходных физико-географических условиях [34].

Из приведенных данных следует, что в рассматриваемый период наблюдений максимум концентраций в трех пунктах наступил в апреле. Причем в Березоречке он в 2 раза интенсивнее, чем в Академгородке г. Томска (ТОР) и на обсерватории «Фоновая».

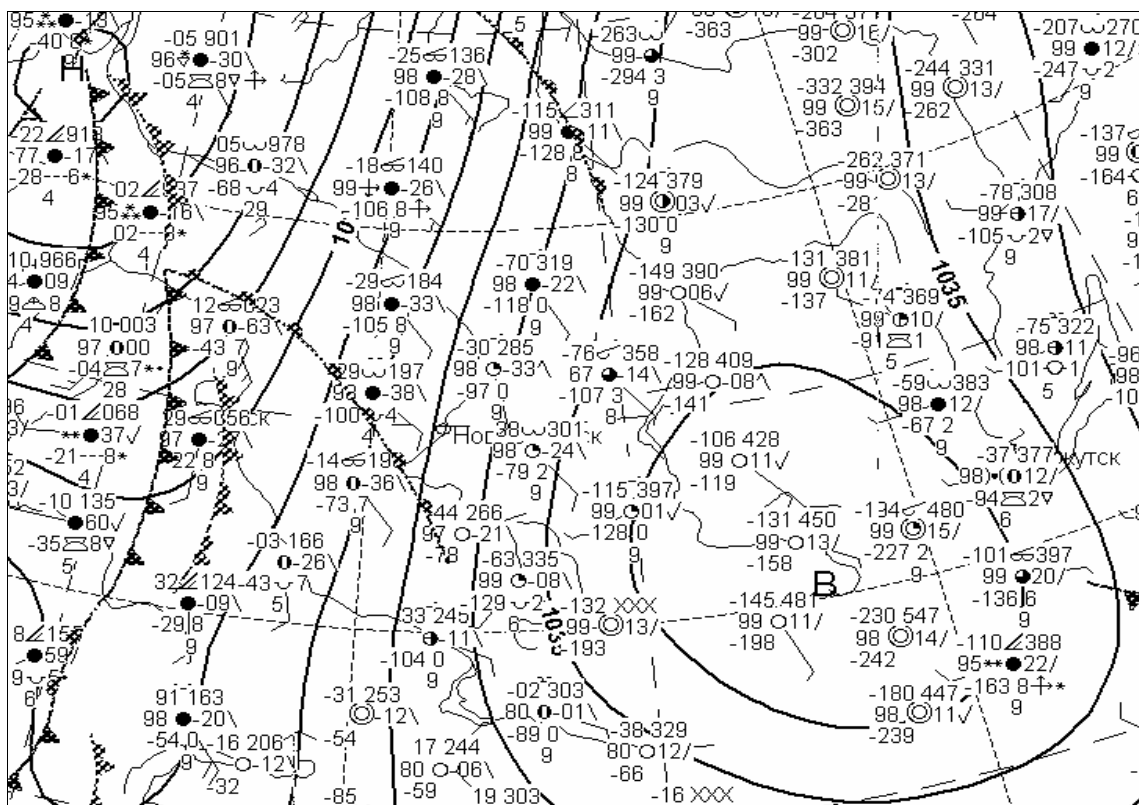


Рис. 2. Приземная карта погоды 29 марта 2012 г. для 7:00 местного времени

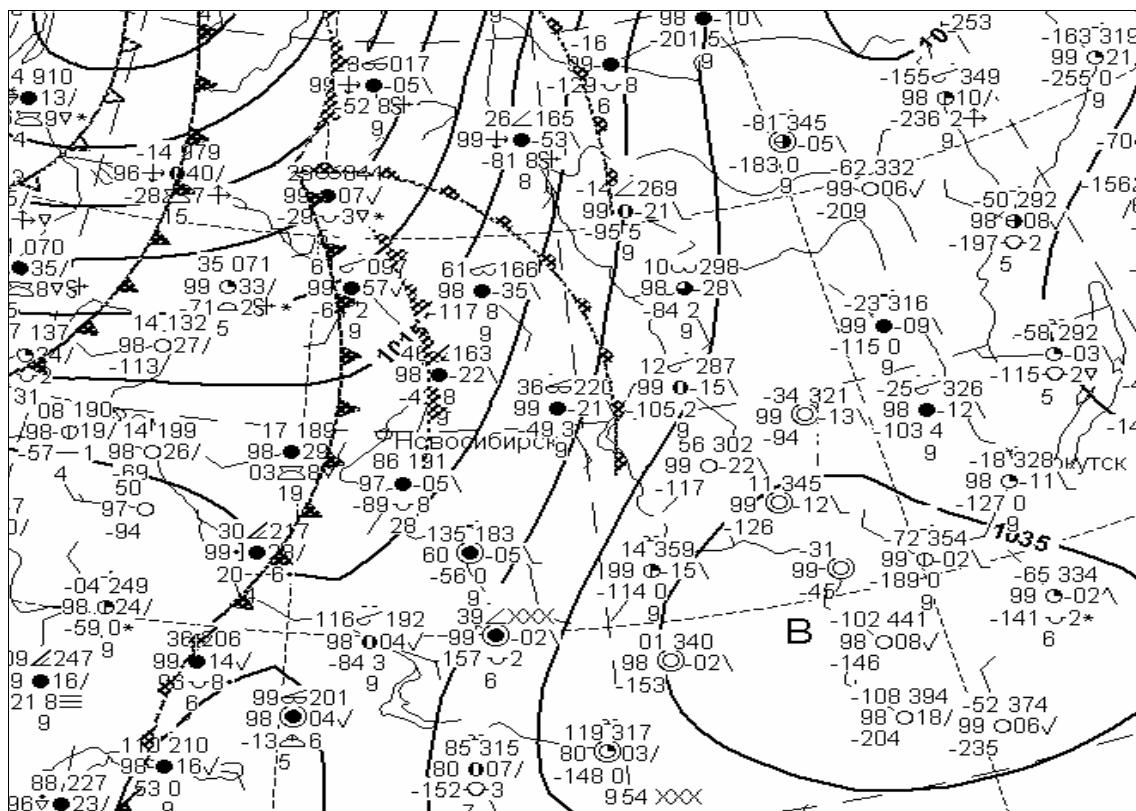


Рис. 3. Приземная карта погоды 29 марта 2012 г. для 19:00 местного времени

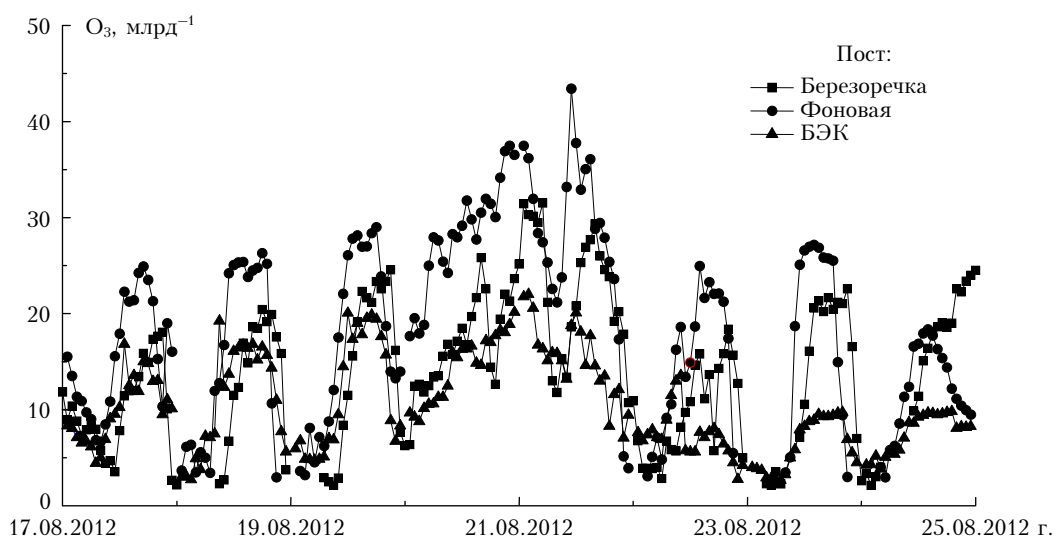


Рис. 4. Изменение концентрации озона в приземном слое воздуха с 17 по 25 августа 2012 г.

Максимум в пункте БЭК наблюдался в мае и, скорее всего, был обусловлен выбросом в атмосферу фитонцидов от лиственных деревьев и цветением травостоя. Удивляет также, что в пунктах Березоречка и БЭК зафиксированы явные летние минимумы, о которых ранее в литературе не сообщалось. Такое мезомасштабное различие приземной концентрации озона требует дальнейшего исследования вне рамок данного направления.

Таким образом, из шести проведенных экспериментов три показали явное фотохимическое образо-

вание озона в пограничном слое. В двух экспериментах, которые проводились в минимумах концентрации озона в годовом ходе, явной суточной динамики зафиксировать не удалось. Один эксперимент проведен в период со сменой воздушных масс и для целей работы оказался неудачным. Учитывая высокую стоимость исследовательских работ с применением самолета, можно сделать два вывода по поводу организации следующих экспериментов. Во-первых, не проводить их в период минимума концентрации озона, так как сложно выделить слабый суточный ход.

Во-вторых, лучше отслеживать синоптическую обстановку и не осуществлять эксперименты в дни со сменой воздушных масс.

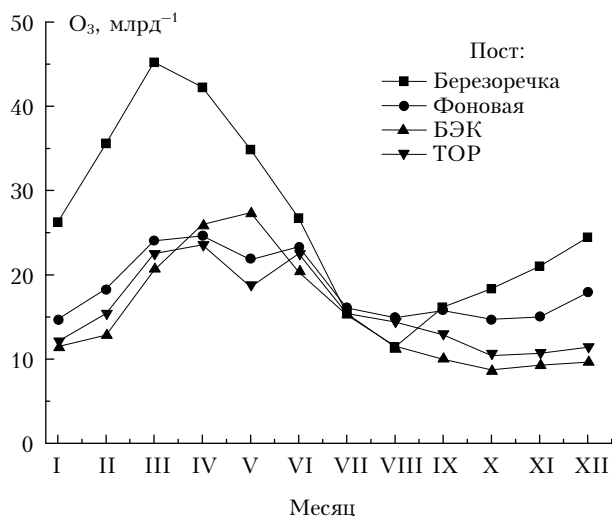


Рис. 5. Годовой ход концентрации озона (2010–2011 гг.) на пунктах мониторинга в Томской области

Для того чтобы рассмотреть суточную динамику озона внутри пограничного слоя атмосферы, найдем разницу концентраций между дневными и утренними профилями, послеполуденными и утренними профилями, а также между дневными и вечерними, послеполуденными и вечерними. Такие данные представлены на рис. 6 для наиболее характерного дня 16.03.2011 г.

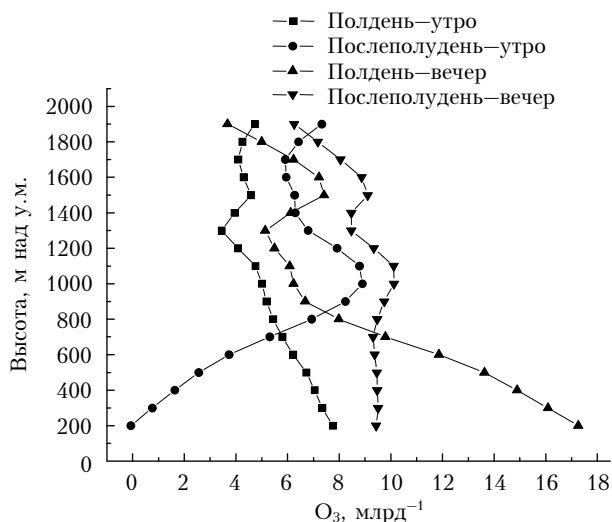


Рис. 6. Разница концентрации озона в разное время суток

Из рис. 6 видно, что в период с утра до полудня концентрация озона возрастала во всем ПСА. При этом в приземном слое его содержание выросло в 2 раза. Это говорит о том, что фотохимическая генерация озона происходила в самых нижних приземных слоях воздуха, куда поступали озонобразующие соединения с подстилающей поверхностью. В послеполуденное время генерация озона смести-

лась к верхней границе ПСА, куда начали поступать газы-предшественники в системе турбулентного обмена.

Различие между послеполуднем и вечером подтверждает этот вывод. Соответствующий профиль показывает, что турбулентный перенос не обеспечивает максимум приземной концентрации в суточном ходе, а лишь выравнивает концентрации примесей в пограничном слое. Разница полдень и вечер в нижних слоях максимальна, что говорит о преобладающем механизме стока озона на подстилающую поверхность в этот период.

В литературе удалось обнаружить только одну аналогичную по постановке задачи работу. С помощью озонзондов были проведены измерения [37] для одного эпизода. Суточный ход оказался близким к тому, который получен нами 30.03.2011.

Заключение

В течение 2011–2012 гг. в характерные периоды года (зима — минимум концентрации озона; весенний первичный максимум концентрации озона в приземном слое воздуха; лето — основной максимум концентрации озона) проведено шесть самолетных зондирований вертикального распределения озона в ПСА над постом Березоречка Томской области.

Анализ полученных данных показал, что из шести проведенных экспериментов три выявили явное фотохимическое образование озона в ПСА. В двух экспериментах, которые проводились в минимумах концентрации озона в годовом ходе, явной суточной динамики зафиксировать не удалось. Один эксперимент выполнен в период со сменой воздушных масс и для целей проекта оказался неудачным.

Из проведенного рассмотрения потоков озона следует, что в период активной фотохимической генерации озона в ПСА наблюдается заметный суточный ход, который определяется его образованием *in situ*. При этом в период активного турбулентного обмена в верхней части ПСА наблюдается нисходящий поток за счет вовлечения озона из свободной атмосферы, в нижней его части — выраженный восходящий поток, который обусловлен генерацией озона из газов-предшественников.

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, 14.515.11.0030 и 8325.

1. Baklanov A.A., Grisogono B., Bornstein R., Mahrt L., Zilitinkevich S.S., Taylor P., Larsen S.E., Rotach M.W., Fernando H.J.S. The nature, theory, and modeling of atmospheric planetary boundary layers // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2011. V. 92, N 2. P. 123–128.
2. Белан Б.Д. Динамика слоя перемешивания по аэрозольным данным // Оптика атмосф. и океана. 1994. Т. 7, № 8. С. 1045–1054.
3. Балин Ю.С., Ершов А.Д. Вертикальная структура аэрозольных полей пограничного слоя атмосферы по дан-

- ным лазерного зондирования // Оптика атмосф. и океана. 1999. Т. 12, № 7. С. 616–623.
4. Комаров В.С., Лавриненко А.В., Ильин С.Н. Сверхдолгосрочный прогноз температуры воздуха в пограничном слое атмосферы на основе динамико-стохастического подхода // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 1. С. 70–74.
 5. Ломакина Н.Я., Комаров В.С., Ильин С.Н. Статистические модели высотного распределения температуры, влажности воздуха и ветра в пограничном слое атмосферы Восточной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 7. С. 629–632.
 6. Комаров В.С., Ломакина Н.Я., Ильин С.Н., Нахтиглова Д.П. Долговременные изменения влажностного режима пограничного слоя атмосферы над территорией Сибири. Часть 1. Изменение среднегодовой влажности // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 2. С. 132–139.
 7. Комаров В.С., Ломакина Н.Я., Ильин С.Н., Нахтиглова Д.П. Долговременные изменения влажностного режима пограничного слоя атмосферы над территорией Сибири. Часть 2. Изменение среднесезонной влажности // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 2. С. 140–149.
 8. Комаров В.С., Ильин С.Н., Ломакина Н.Я., Нахтиглова Д.П. Особенности вертикальной структуры полей температуры и влажности воздуха в пограничном слое атмосферы над Восточной Сибирью в зависимости от его облачного состояния. Часть 1. Фоновые характеристики и изменчивость // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 3. С. 230–234.
 9. Комаров В.С., Ильин С.Н., Ломакина Н.Я., Нахтиглова Д.П. Особенности вертикальной структуры полей температуры и влажности воздуха в пограничном слое атмосферы над Восточной Сибирью в зависимости от его облачного состояния. Часть 2. Характеристики вертикальной корреляции // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 3. С. 235–239.
 10. Мамышева А.А., Одинцов С.Л. Анализ зависимости нормированной кинетической энергии турбулентности от направления ветра и типа стратификации в приземном слое атмосферы над урбанизированной территорией // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 4. С. 374–381.
 11. Мамышева А.А., Одинцов С.Л. Нормированные дисперсии компонентов вектора ветра в приземном слое атмосферы над урбанизированной территорией // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 7. С. 621–628.
 12. Банах В.А., Смелихо И.Н. Определение оптической турбулентности по обратному атмосферному рассеянию лазерного излучения // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 4. С. 300–307.
 13. Букин О.А., Кульчин Ю.Н., Павлов А.Н., Столярчук С.Ю., Шмирко К.А. Характеристики структуры и динамики ППС в переходной зоне «материк–океан». Часть I. Зимний период // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 8. С. 694–701.
 14. 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.
 15. Grant R.H., Wong K.-L. Ozone profiles over a suburban neighborhood // Atmos. Environ. 1999. V. 33, N 1. P. 51–63.
 16. Cheng W.-L. A vertical profile of ozone concentration in the atmospheric boundary layer over central Taiwan // Meteorol. Atmos. Phys. 2000. V. 75, N 3–4. P. 251–258.
 17. Tricki T. Transport studies by lidar sounding – the IFU activities in 2000 // TOR-2. Annual report 2000. Munich: ISS, 2001. P. 87–96.
 18. Law K., Plantevin P.-H., Thouret V., Marengo A. Comparison between Global Chemistry Transport Model Results and Measurement of Ozone and Water Vapour by Airbus In-Service Aircraft (MOZAIC) Data // J. Geophys. Res. D. 2000. V. 105, N 3. P. 1503–1525.
 19. Marengo A., Thouret V., Nedelec P. Measurements of ozone and water vapor by Airbus in-service aircraft: The MOZAIC airborne program, an overview // J. Geophys. Res. D. 1998. V. 103, N 12. P. 25631–25642.
 20. Patz H.-W., Volz-Thomas A., Hegglin M.I. In situ comparison of the NO_y instruments flown in MOZAIC and SPURT // Atmos. Chem. Phys. 2006. V. 6, N 9. P. 2401–2410.
 21. Cammas J.-P., Volz-Thomas A. The MOZAIC Program (1994–2007) // IGActivities Newsletter. 2007. N 37. P. 10–17.
 22. Volz-Thomas A. In-service Aircraft for Global Observations – the future // IGActivities Newsletter. 2007. N 37. P. 18–22.
 23. Белан Б.Д., Толмачев Г.Н., Фофанов А.В. Вертикальное распределение озона в тропосфере над югом Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 9. С. 777–783.
 24. 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.
 25. 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.
 26. Monks P.S., Salisbury G., Holland G., Penkett S.A., Ayers G.P. A seasonal comparison of ozone photochemistry in the remote marine boundary layer // Atmos. Environ. 2000. V. 34, N 16. P. 2547–2561.
 27. Gerasopoulos E., Kowarakis G., Vrekoussis M., Donousis Ch., Mihalopoulos N., Kanakidou M. Photochemical ozone production in the Eastern Mediterranean // Atmos. Environ. 2006. V. 40, N 17. P. 3057–3069.
 28. Bloomer B.J., Vinnikov K.Y., Dickerson R.R. Changes in seasonal and diurnal cycles of ozone and temperature in the eastern U.S. // Atmos. Environ. 2010. V. 44, N 21–22. P. 2543–2551.
 29. Henne S., Klausen J., Junkermann W., Kariuki J.M., Aseyo J.O., Buchmann B. Representativeness and climatology of carbon monoxide and ozone at the global GAW station Mt. Kenya in Equatorial Africa // Atmos. Chem. Phys. 2008. V. 8, N 12. P. 3119–3139.
 30. Звягинцев А.М. Основные характеристики изменчивости содержания озона в нижней тропосфере над Европой // Метеорол. и гидрол. 2004. № 10. С. 46–55.
 31. Демин В.И., Белоглазов М.И., Еланский Н.Ф. Некоторые результаты мониторинга приземного озона на Кольском полуострове (1999–2003 гг.) // Метеорол. и гидрол. 2005. № 10. С. 10–20.
 32. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н. Изменчивость приземного озона в окрестностях Москвы: результаты десятилетних регулярных наблюдений // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2002. Т. 38, № 4. С. 468–495.
 33. Антохин П.Н., Белан Б.Д. Регулирование динамики тропосферного озона через стратосферу // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 10. С. 890–895.
 34. Антохин П.Н., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Белан С.Б., Давыдов Д.К., Козлов А.В., Краснов О.А., Пестунов Д.А., Праслова О.В., Фофанов А.В., Inoue G., Machida T., Максюттов Ш., Shimoyama K., Sutoh H. Применение самолета Ан-2 для исследования состава воздуха в пограничном слое атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 8. С. 714–720.

35. *Deutsch C.V., Journal A.G.* GSLIB – Geostatistical Software Library and User's Guide. N.Y.: Oxford University Press, 1992. 338 p.
36. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Иноуи Г., Краснов О.А., Мачида Т., Максюттов Ш., Недэлэк Ф., Рамонет М., Сиас Ф., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В.* Организация мониторинга парниковых и окисляющих атмосферы компонент над территорией Сибири и некоторые его результаты. 1. Газовый состав // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19, № 11. С. 948–955.
37. *Hu X.-M., Doughty D.C., Sanches K.J., Joseph E., Fuentes J.D.* Ozone variability in the atmospheric boundary layer in Maryland and its implications for vertical transport model // Atmos. Environ. 2012. V. 46, N 1. P. 354–364.

P.N. Antokhin, V.G. Arshinova, M.Yu. Arshinov, B.D. Belan, S.B. Belan, D.K. Davydov, A.V. Kozlov, O.A. Krasnov, O.V. Praslova, T.M. Rasskazchikova, D.E. Savkin, G.N. Tolmachev, A.V. Fofonov. **Diurnal dynamics of ozone vertical distribution in the atmospheric boundary layer near Tomsk city.**

By results of plane sounding the dynamics of vertical distribution of ozone in the atmospheric interface is considered. Measurements were made from the An-2 plane board. During 2011–2012, 6 plane soundings of vertical distribution of ozone were carried out to the characteristic periods of year (winter, spring, summer) in an interface to the atmosphere over Berezhovka post of the Tomsk region. It is shown that during active photochemical generation of ozone in an interface of the atmosphere the noticeable daily course, which is defined by its formation of *in situ* was observed. Thus, in the period of an active turbulent exchange in the top part of an interface the descending stream at the expense of ozone involvement from the free atmosphere, in its lower part the expressed ascending stream, which is caused by ozone generation from gases of predecessors is observed.