

УДК 551.510.42

Аршинов М.Ю., к.ф.-м.н., Белан Б.Д., д.ф.-м.н., Давыдов Д.К., Савкин Д.Е.,
Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В.

Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН

МЕЗОМАСШТАБНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ОЗОНА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА В ТОМСКОМ РЕГИОНЕ (2010-2012 гг.)

В работе были рассмотрены, на основе 3-летних наблюдений в приземном слое воздуха Томской области, особенности годового и суточного хода приземной концентрации озона (ПКО) на 4 постах с разными уровнями антропогенного загрязнения (городским, пригородным и фоновым) и вертикальное распределение на БЭКе и Фоновой. Показано, что между постами наблюдаются заметные различия, как в годовом, так и в суточном ходе.

Ключевые слова: атмосфера, воздух, мезомасштаб, озон

Введение. Атмосфера представляет собой сложную физико-химическую систему, находящуюся во взаимодействии с земной поверхностью, океаном и биосферой. Ее состав непрерывно меняется. На рубеже XX и XXI столетий эти изменения резко ускорились в результате быстрого роста населения и интенсивной человеческой деятельности. Промышленностью, транспортом, коммунальными службами в атмосферу выбрасываются опасные для человека и живой природы химически активные и токсичные соединения. Некоторые из них формируются непосредственно в воздушной среде из относительно нейтральных химических предшественников. Такие вещества как углеводороды, окислы азота, серы и углерода способны изменять окислительные свойства атмосферы, т.е. возможность атмосферы трансформировать загрязняющие примеси в нейтральные формы и выводить их из воздушной среды. [9].

Изучение приземного озона в настоящее время носит достаточно широкий масштаб и, несмотря на большое количество имеющихся публикаций исследования динамики озона в приземном слое атмосферы остаются по-прежнему актуальными. Усиление в последнее время внимания в мире к наблюдениям приземного озона связано со следующими основными факторами. Во-первых, озон является токсичным загрязнителем атмосферы, оказывающим при превышении предельно допустимой концентрации (ПДК) негативное воздействие на здоровье человека и сильно снижают биологическую продуктивность растений, в том числе, и сельскохозяйственных культур [15] и относится к веществам первого класса опасности. Всемирная организация здравоохранения включила озон в список пяти основных загрязнителей атмосферы, содержание которых необходимо контролировать при определении качества воздуха [10]. Во-вторых, озон играет ключевую роль в химических и фотохимических процессах в тропосфере, обуславливая ее окислительную способность. В-третьих, беспокойность вызывают наблюдаемый в обширных континентальных районах Северного полушария как общий рост тропосферного и приземного озона, так и эпизоды с его повышенными значениями. В немалой степени резко возросший объем исследований приземного озона в последние два десятилетия связан с появлением сравнительно недорогих, высокоточных и способных работать в автономном режиме средств измерений концентрации озона [12]. Временное поведение приземного озона тесно связано и во многом определяется поведением других малых газовых составляющих атмосферы (МГС), в первую очередь, оксидов азота (NO и NO₂), оксида углерода, широкой группы так называемых летучих органических соединений (английское сокращение - VOC) и других соединений, однако данных об этих соединениях гораздо меньше и они менее надежны.

Географическое положение и описание измерительных пунктов. С 1991 года ИОА СО РАН стал соисполнителем проекта TOR (Tropospheric Ozone Research) программы EUROTRAC (Европейский эксперимент по изучению переноса и трансформации важных для исследований окружающей среды малых газовых и аэрозольных компонентов в тропосфере над Европой). Томск был выбран в качестве контрольной точки для европейских исследователей. Этому во многом способствовало его географическое положение. В особенности тот факт, что он расположен в зоне бореальных лесов. До создания TOR-станции на этом же месте с сентября 1989 года непрерывно велся мониторинг приземной концентрации озона.

Программа работ по TOR- проекту предполагала организацию постов мониторинга озона и компонентов озонового цикла. Основными целями данного проекта являлись: 1) оценка трендов концентрации тропосферного озона и его предшественников, и механизмы их формирования, вклад фотохимических и динамических процессов в наблюдаемые тренды, моделирование долговременных изменений газового состава атмосферы; 2) процессы вертикального обмена озоном между планетарным пограничным слоем и свободной тропосферой, тропосферой и стратосферой; 3) периодические вариации концентрации тропосферного озона различного масштаба (сезонные и суточные вариации), механизмы этих вариаций и их моделирование, влияние процессов переноса и синоптических процессов на вариации приземного озона.

TOR – станция имеет координаты 56°28'41"с.ш., 85°03'15" в.д.. Она представляет собой автоматический пост, который расположен в здании станции высотного зондирования ИОА СО РАН на северо-восточной окраине Академгородка г. Томска. Рядом со станцией отсутствуют промышленные объекты и автомагистрали, что снижает влияние местных источников газа и аэрозоля. Так как станция расположена в зоне бореальных лесов, то вокруг нее имеются небольшие лесные массивы лиственных и хвойных пород. При направлении переноса воздушных масс с западной составляющей, пост оказывается под влиянием воздуха, прошедшего через территорию города Томска и обогащенного выбросами промышленности и автотранспорта. В остальных случаях воздух поступает из фоновых районов, в которых высока доля лесных массивов и отсутствуют какие-либо промышленные предприятия. Более подробно сведения о данном poste изложены в [4].

Кроме этого ИОА СО РАН располагает двумя обсерваториями. С 2006 г. начал работать пост мониторинга состава воздуха на территории обсерватории «Фоновой», вблизи п. Киреевск, находящейся в 60 км к западу от города на берегу р. Обь. Он имеет координаты 56°25'07" с.ш., 84°04'27" в.д. и высоту 80 метров над уровнем моря. Данный пост достаточно удален от мощных источников антропогенного загрязнения, что позволяет использовать его в качестве фонового при изучении физико-химических процессов в нижней тропосфере прилегающих территорий.

В 2007 году измерения начались на базовом экспериментальном комплексе (БЭКе), расположенном на северо-восточной окраине города Томска. Он имеет координаты 56°28'49" с.ш., 85°06'08" в.д. и высоту 170 метров над уровнем моря. На станциях обеих обсерваторий установлены идентичные автоматические комплексы для измерения широкого набора метеорологических величин, концентраций малых газовых примесей и аэрозолей в приземном слое атмосферы. Оба комплекса оборудованы вантовыми мачтами «Унжа-2», оснащенными соответствующими датчиками на четырех высотных уровнях. Из рис. 1 видно, что при преобладающем западно-восточном переносе воздух будет последовательно проходить вначале через полигон «Фоновый», затем через город Томск и только потом попадать на БЭК. Более подробно информация об этих постах приведена в [3].

В 2004 году был введен в эксплуатацию пост Березоречка. Пост представляет собой оснащенную исследовательским оборудованием мачту расположенную внутри большого лесного массива на удалении 54 км от г. Томска. Пост имеет координаты $56^{\circ}08'56''$ с.ш. и $84^{\circ}19'58''$ в.д..

Географическое положение постов имеет определяющее значение для репрезентативности получаемых на посту данных. Взаимное расположение постов приведено на рис. 1.

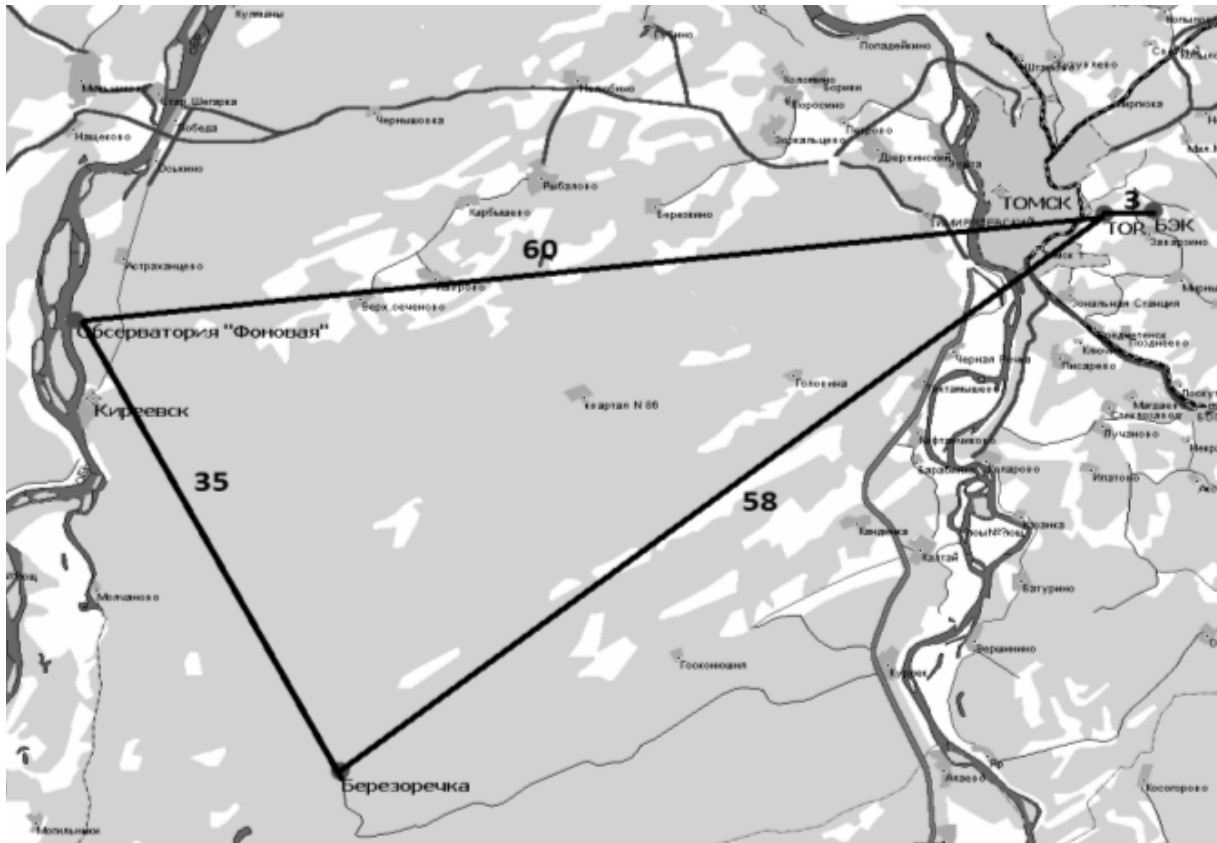


Рис.1. Расположение постов контроля озона на территории Томской области.

Оборудование и методы измерений. В качестве измерительного средства приземной концентрации озона на TOR-станции, БЭЖе и обсерватории «Фоновой» используется хемилюминесцентный газоанализатор типа 3-02П, разработанный и изготовленный предприятием ЗАО «ОПТЭК» (г. Санкт-Петербург), который регулярно калибруется с помощью генератора ГС-024-2 того же изготовителя. Забор воздуха на TOR-станции осуществляется через тефлоновые трубки с высоты 5 метров, на БЭЖе и «Фоновой» с высот 10 и 30 метров. На посту Березоречка измерения осуществляются с помощью ультрафиолетового газоанализатора DuLec (Япония) модель 1150. Отбор проб воздуха для анализа приземной концентрации озона осуществляется через тефлоновую трубку с высоты 10 метров. Характеристики озонметров приведены в табл. 1.

Измерения на всех постах осуществляются ежечасно и круглосуточно. Отсчеты производятся с частотой 1 Гц и затем осредняются за 10 минутный промежуток времени. Для исследования динамики концентрации озона в приземном слое воздуха на мезомасштабном уровне был взят ряд наблюдений среднечасовых отсчетов за 2010-2012 гг. В массиве данных имеются разрывы наблюдений из-за отключения

электричества, выхода из строя оборудования во время гроз и других неблагоприятных гидрометеорологических явлений, снятия оборудования в ремонтных и калибровочных целях.

Таблица 1 -Технические характеристики измерительных приборов

Технические характеристики	3-02 П	DyLec модель 1150
Диапазон измерения	1-500 мкг/м ³	Нижний диапазон 0-0,2 млн ⁻¹
		Верхний диапазон 0-0,5 млн ⁻¹
Относительная погрешность	±20%	± 0,5% (от полной шкалы)
Температура окружающего воздуха	+10...+35°С	+5...+ 40°С
Страна производитель	Россия	Япония

В каждом пункте проводились также измерения метеопараметров (температура, влажность, скорость и направление ветра, атмосферное давление воздуха и др).

Обсуждение полученных результатов. В мировой литературе имеется небольшое количество работ по мониторингу концентрации приземного озона на мезомасштабном уровне и относится, как правило, к урбанизированным районам, большим городам, промышленным комплексам[5,14].

Наличие газоанализаторов озона в четырех пунктах Томской области, расположенных на относительно небольшом удалении друг от друга (до 60 км), в условиях разного уровня антропогенного загрязнения атмосферы (город, пригород, фоновый, лесной районы), позволяет провести сопоставление динамики его концентрации на мезомасштабном уровне. Напомним, что для тропосферы крупномасштабные пространственные масштабы корреляции по нулевому уровню для озона составили расстояние от 500 до 1000 км, временные от 1.5 до 3.5 дней [7,22].

Осредненный годовой ход приземной концентрации озона за 2010-2012 гг. на территории Томской области представлен на рис. 2.

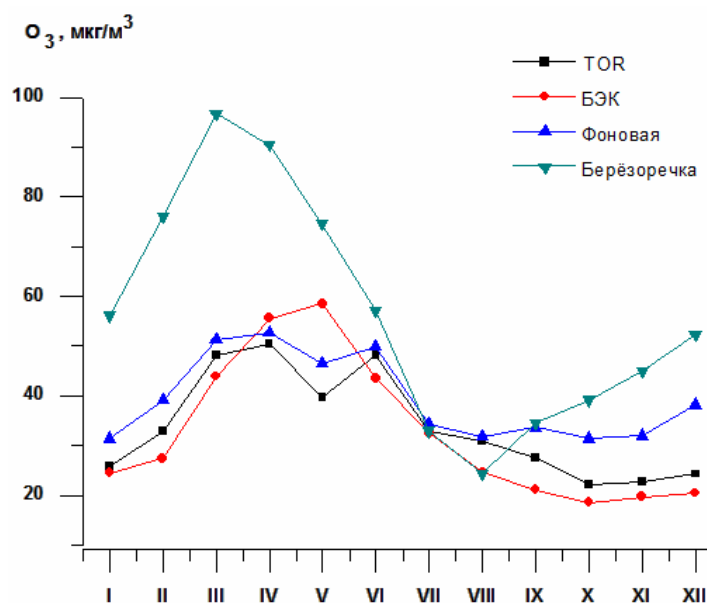


Рис.2. Осредненный годовой ход приземной концентрации озона (2010-2012) в Томской области.

Из рис. 2 видно, что на всех исследуемых постах происходит значительное возрастание ПКО от января к марту, приблизительно на 20-40 мкг/м³. На БЭЖе данный рост продолжается до мая. За счет этого роста происходит формирование годового максимума ПКО, который наблюдается в весной (март-май) на всех исследуемых постах. На Березоречке максимум годового хода был достигнут в марте, который в 2 раза интенсивнее, чем в Академгородке и на Фоновом. Максимум на БЭЖе наступил в мае и, скорее всего, был обусловлен появлением фитонцидов от лиственных деревьев и цветения травостоя. На территории обсерватории «Фоновая» и TOR-станции максимумы несколько сглажены и наблюдаются в течение нескольких месяцев (март-июнь) с максимальными значениями в апреле. Различие концентрации озона в приземном слое атмосферы между фоновым районом (Фоновая) и городом (TOR) обнаруживается только в холодное полугодие, что вызвано дополнительным разрушением озона в реакциях с загрязняющими веществами в городской атмосфере [8].

По поводу весеннего максимума в литературе нет единого мнения. Некоторые ученые пришли к выводу, что он имеет либо антропогенную природу, либо является следствием переноса предшественников озона к месту наблюдений. Не отвергая этого вывода, можно прийти к тому, что основная причина наступления столь раннего максимума на Березоречке связана с ее месторасположением, которая окружена со всех сторон лесными массивами лиственных и хвойных пород. Последние являются мощнейшими источниками генерации терпенов и изопренов, которые зависят от температуры воздуха в весенний период и из которых в естественных условиях и образуется озон.

Обращает на себя внимание еще один факт - минимальные приземные концентрации озона на постах в Березоречке и обсерватории «Фоновая» приходятся на конец летнего периода (июль-август). Ранее в литературе о подобном явлении не сообщалось. Это требует отдельного, дополнительного исследования. На TOR-станции и БЭЖе минимумы концентрации озона, как и на большинстве станций, наблюдаются в зимнее время.

Среднегодовые концентрации озона, полученные в период 2010-2012 гг. в приземном слое воздуха в Томском регионе, приведены в табл. 2.

Таблица 2- Средние годовые концентрации приземного озона (мкг/м³), полученные на станциях мониторинга Томской области.

Район измерений	Высота отбора проб, м	2010	2011	2012	2010-2012
TOR	5	35,1± 6,6	37,4± 15,7	31,3± 13,6	34,7± 10,6
БЭЖ	10	40± 23,3	30,7± 9,75	27,2± 15,3	32,6± 14,2
	30	42,1± 25,6	31± 10,2	27,1± 15,4	33,6± 15,54
ФОН	10	33,2± 5,9	46± 10,8	38,9± 11	39,6± 3,96
	30	35± 6,1	50,3± 12,6	48,3± 14,5	44,3± 9,7
Березоречка	10	69,1± 20,7	57,7± 27,5	54,8± 21,4	57± 23,6

Согласно представленным в таблице данным, средняя годовая (за 2010-2012 гг.) концентрация озона на TOR- станции и БЭЖе различается незначительно и составляет приблизительно 33 мкг/м³. Самые большие средние концентрации приземного озона были зарегистрированы на постах, которые находятся в фоновых районах. На Березоречке оно составило 57 мкг/м³, а на Фоновом 39,6 мкг/м³.

Суточный ход концентрации озона в приземном слое воздуха исследовался в достаточно большом количестве работ [10-12, 16-18,20,21,23,24,26]. Основные результаты измерений в этих работах подобны.

На рис.3 представлен среднегодовой суточный ход концентрации озона, рассчитанный по всему массиву данных за 2010-2012 гг.

Суточный ход концентрации озона в приземном слое воздуха определяется воздействием природных и антропогенных факторов. Наблюдаемый в урбанизированных и непромышленных областях равнинных континентальных районов суточный ход имеет максимум днем и минимум – ночью [13,19,25], как и представленный на рис. 3.

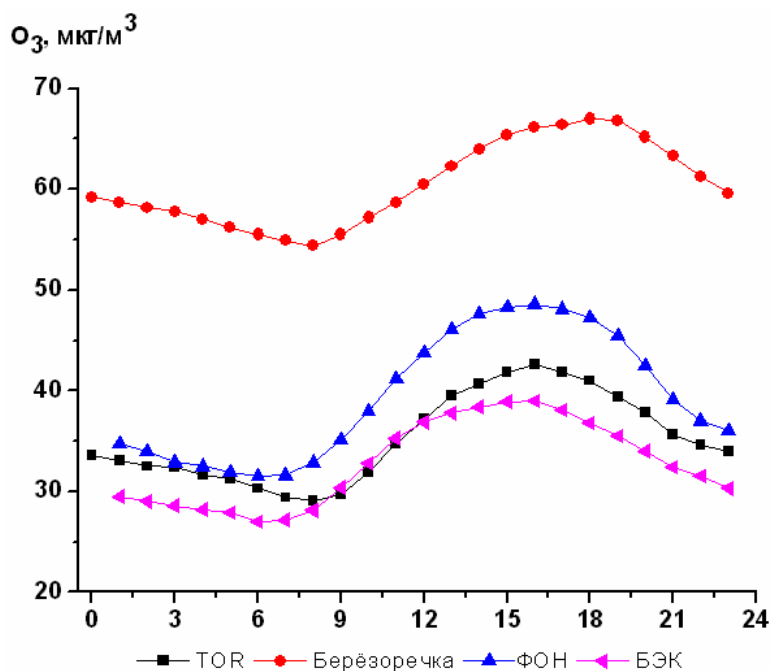


Рис. 3. Средний суточный ход приземной концентрации озона в Томской области за 2010-2012 гг.

Амплитуда суточного хода приземной концентрации озона немного больше в фоновых районах (Фоновая, Берёзорежка), чем в городских или пригородных. Амплитуда суточного хода концентрации озона находится в значительной зависимости от сезона года, о чем свидетельствуют приведенные данные на рис.4.

По отношению к другим месяцам, среднемесячные суточные хода концентрации озона, которые изображены на рис. 4 для января, выражены слабо и имеют почти нейтральный характер на всех исследуемых постах мониторинга. Наличие снежного покрова приводит к сглаживанию суточного хода концентрации озона в приземном слое атмосферы, поскольку на поверхности снега разрушение озона идет менее интенсивно по сравнению с поверхностью открытого грунта [5,14].

В апреле среднемесячные суточные хода концентрации озона, выражены сильнее, чем в зимние месяцы на всех постах. Уже в весенние месяцы начинает наблюдаться увеличение потока солнечной радиации и сход снежного покрова, за счет чего в атмосферу начинает поступать в больших количествах озonoобразующие вещества и растительные углеводороды (терпены, изопрены). В связи с этим, начинается активная генерация озона в приземном слое и происходит увеличение суточных амплитуд концентрации озона. Поэтому среднемесячные суточные хода становятся более

выраженными, чем в зимние месяцы. За счет увеличения потока солнечной радиации и начала генерации озона в приземном слое происходит увеличение суточных амплитуд концентрации озона и они становятся более выраженными, чем в предыдущие месяцы. В апреле в полуденные часы становится возможным полное разрушение инверсий в приземном слое с поступлением сюда обогащенных озоном масс воздуха, и поэтому дневные концентрации превышают ночные. Это, как было показано в [2], является первопричиной начала фотохимической генерации озона. В дальнейшем продолжительность периода с неустойчивой стратификацией в дневные часы будет увеличиваться, так как утренний переход от отрицательных значений к положительным происходит все в более ранние часы, а обратный – в более поздние[8].

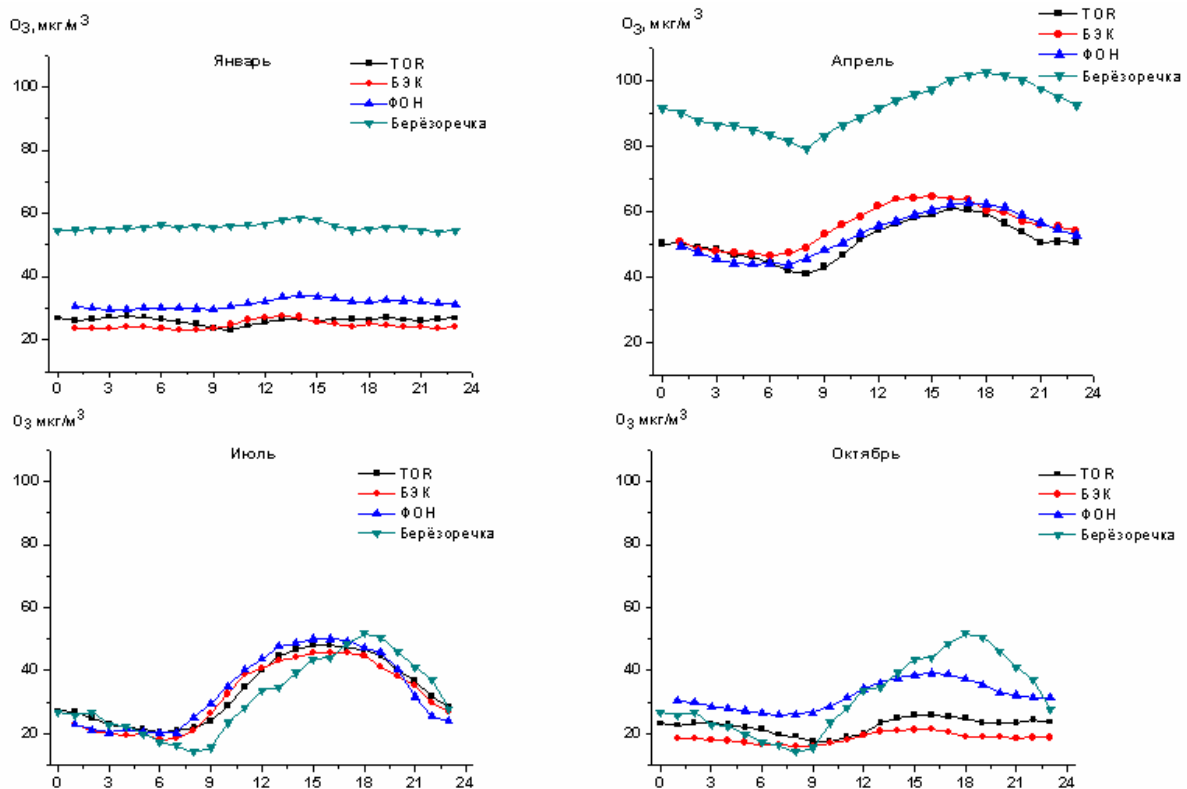


Рис. 4. Суточный ход приземной концентрации озона для центральных месяцев каждого сезона, осредненный за 2010-2012 гг.

По отношению к другим месяцам, среднемесячные суточные хода концентрации озона за 2010-2012 гг., которые изображены на рис. 4 для июля имеют почти одинаковый по своему значению суточный ход на всех постах мониторинга. Амплитуда в июле схожа с амплитудой, которая наблюдалась в апреле. Различие лишь в том, что в апреле концентрация больше. Положительная связь максимальных концентраций озона и температуры воздуха свидетельствует в пользу фотохимических процессов, приводящих к образованию озона, т.к. скорость элементарных реакций фотохимического образования озона экспоненциально увеличивается с ростом температуры.

По отношению к предшествующим месяцам, суточная амплитуда в октябре снизилась почти в 2 раза на Фоновой, БЭКе и ТОР-станции, а на Берёзорежке она осталась приблизительно такой же. Понижение суточной амплитуды может быть связано с наступлением дождливого осеннего периода, к тому же в октябре начинает

выпадать первый снег. Из вышесказанного можно предположить, что в осенний период концентрация становится меньше потому, что оказывает сильное воздействие подстилающая поверхность. В сентябре и октябре на ней, в результате дождей, скапливается большое количество влаги, которая приводит к большей деструкции озона. Также, начинает прекращаться поступление в атмосферу терпенов и изопренов от растительности, из которых в естественных условиях и образуется озон.

Из рис. 4 можно сделать вывод, что в холодный период большая амплитуда наблюдается на постах, которые находятся на относительно небольшом удалении от Томска. В теплый период амплитуда на всех станциях становится приблизительно одинаковой, что свидетельствует об общем механизме формирования поля приземного озона на этих станциях.

Поскольку забор воздуха на БЭЖе и обсерватории Фоновой осуществляется с двух высот (10 и 30 метров), то можно оценить направление потока озона в приземном слое воздуха [6].

На рис.5 представлены графики годовых ходов концентраций озона на этих постах на двух уровнях, которые построены по среднемесячным значениям концентраций озона усредненным за 2010-2012 гг.

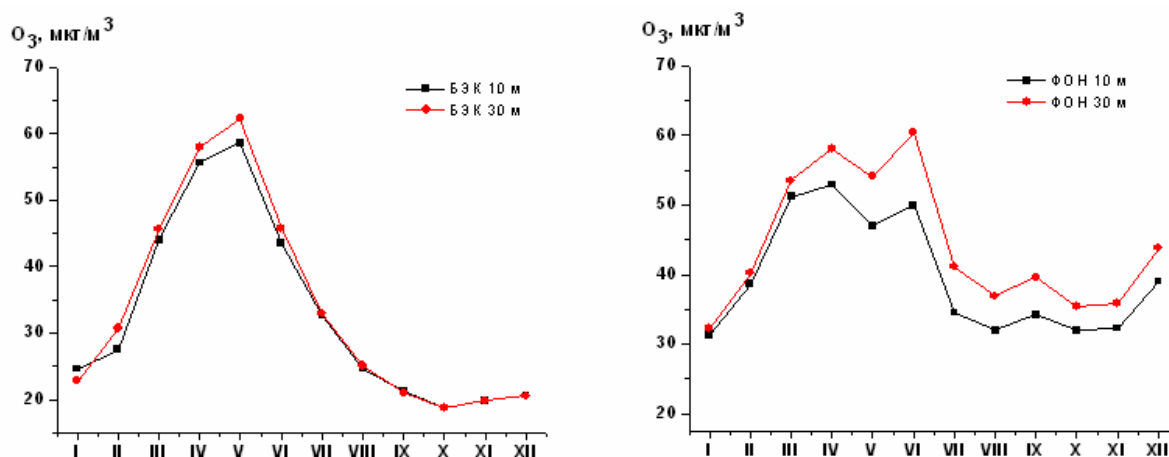


Рис.5. Средний годовой ход приземной концентрации озона на БЭЖе и Фоновой на 10 и 30 метрах за 2010-2012 гг.

Из данных рис. 5 можно сделать вывод, что концентрации озона на уровнях 10 и 30 метров хорошо коррелируют между собой на обоих постах. Коэффициент корреляции составляет 0,99 и 0,97 для БЭЖа и Фоновой, соответственно. При этом, заметно отличаются, как сами годовые хода на двух постах, так и разица концентраций на двух высотах. На уровне 30 метров концентрация озона весной и летом больше приблизительно на 1-2 мкг/м³ на БЭЖе относительно уровня 10 метров и на 3-10 мкг/м³ в течение всего года на Фоновой, соответственно. Очевидно, что данное явление может возникать за счет стока озона на подстилающую поверхность, так как концентрация на высоте 30 метров в течение всего года превышает ее значение на уровне 10 метров. Вместе с тем, на таком небольшом расстоянии между постами, приток озона из вышележащих слоев не может столь значительно различаться [2]. Наиболее вероятно, что такие мезомасштабные различия возникают за счет процессов в пограничном слое атмосферы [1].

На рис.6 представлен средний суточный ход приземной концентрации озона на БЭЖе и Фоновой на 10 и 30 метрах за 2010-2012 гг.

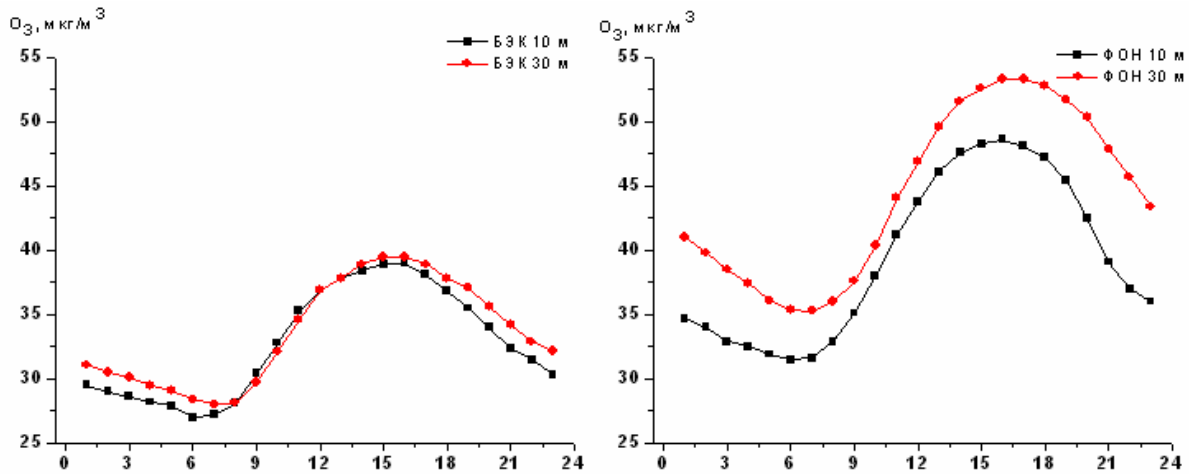


Рис.6. Средний суточный ход приземной концентрации озона на БЭЖе и Фоновой на 10 и 30 метрах за 2010–2012 гг

Из рис.6 следует, что суточные хода осредненные за 2010-2012 гг. концентрации озона на высотах 10 и 30 метров также заметно отличаются в рассматриваемых районах. Разница в концентрации озона между двумя уровнями больше в фоновом районе ($2-7 \text{ мкг/м}^3$) и не более 3 мкг/м^3 на БЭЖе. Она уменьшается в период с 8 до 12 часов местного времени, а на БЭЖе даже изменяет знак. Это можно объяснить тем, что в утренние часы повышается турбулентное перемешивание и в приземный слой начинают поступать с подстилающей поверхности газы-предшественники, из которых фотохимически генерируется озон [5].

Заключение. Из анализа годового хода следует, что в пунктах Березоречка и БЭЖ годовые хода заметно отличаются от двух остальных. Причем они различаются явно не по территориальному признаку. В противном же случае должны быть подобны Березоречка и Фоновый, БЭЖ и TOR-станция. Из приведенных данных следует, что в рассматриваемый период максимум на TOR-станции и Фоновой пунктах наступил в апреле, на Березоречке в марте. Причем в Березоречке он в 2 раза интенсивнее, чем в Академгородке и на Фоновом. Максимум на БЭЖе наступил в мае и скорее всего был обусловлен появлением фитонцидов от лиственных деревьев и цветения травостоя.

Из анализа суточной динамики можно сделать вывод, что в холодный период большая амплитуда наблюдается на постах, которые находятся на относительно небольшом удалении от Томска. Суточный ход концентрации озона хорошо выражен в теплый период и значительно уменьшает свою амплитуду в холодный. В теплый период амплитуда на всех станциях становится приблизительно одинаковой со значительным коэффициентом корреляции для Фоновой, БЭЖа и TOR-станции, что свидетельствует об общем механизме формирования поля приземного озона на этих станциях.

Из вертикального распределения следует, что в годовом ходе концентрация озона в течение всего года выше на 30 метрах относительно уровня 10 метров на БЭЖе и Фоновой. В суточном ходе она также выше на 30 метрах, за исключением периода 8-12 часов по местному времени, когда более развито в нижних слоях турбулентное перемешивание.

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.

Литература

1. 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., Фофонов 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 атмосферы и океана. 2012, т.25, №8, с.714-720.
2. Антохин П.Н., Белан Б.Д. Регулирование динамики тропосферного озона через стратосферу // Оптика атмосферы и океана. 2012, т.25, №10, с.890-895.
3. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Покровский Е.В., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В. Посты для мониторинга парниковых и окисляющих атмосферу газов// Оптика атмосферы и океана, 2007, т.20, №1, с. 1085-1092.
4. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Зуев В.В., Зуев В.Е., Ковалевский В.К., Лиготский А.В., Мелешкин В.Е., Панченко М.В., Покровский Е.В., Рогов А.Н., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н. TOR-станция мониторинга атмосферных параметров//Оптика атмосферы и океана, 1994, т.7, №8, с. 1085-1092.
5. Белан Б.Д. Озон в тропосфере. Томск: изд-во ИОА СО РАН, 2010. 488 с.
6. Белан Б.Д. Тропосферный озон. 7. Стоки озона в тропосфере // Оптика атмосферы и океана. 2010, т.23, №2, с.108-127.
7. Белан Б.Д., Мелешкин В.Е., Мелешкина И.Е., Толмачев Г.Н. Результаты климато-экологического мониторинга на TOR-станции. 4.2. Газовый состав приземного воздуха. // Оптика атмосферы и океана. 1995, т. 8, с. 875-884.
8. Белоглазов М.И., Демин В.И., Еланский Н.Ф. Некоторые результаты мониторинга приземного озона на Кольском полуострове (1999-2003гг.)// Метеорология и гидрология, 2005, №10, с. 10-20.
9. Состав атмосферы над Северной Евразией: эксперименты TROICA// под ред. Еланский Н.Ф. Агрспас, 2009, с. 80
10. Звягинцев А.М. Аномалии приземного озона в Европе// Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2004, т. 40, №3, с. 387-396.
11. Звягинцев А.М. Основные характеристики изменчивости содержания озона в нижней тропосфере над Европой. // Метеорология и гидрология. 2004, № 10, с. 46-55.
12. Звягинцев А.М., Кузнецов И.Н. Изменчивость приземного озона в окрестностях Москвы: Результаты десятилетних регулярных наблюдений// Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2002, т. 38, №4, с. 486-495.
13. Попов В.А., Ровинский Ф.Я., Черных Л.Н. О фоновом содержании озона в приземной атмосфере.// ДАН СССР, 1979, т. 249, №6, с. 1139-1241.
14. Ровинский Ф.Я., Егоров В.И. Озон, окислы азота и серы в нижней атмосфере, Гидрометеиздат, 1986, с.182.
15. Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Нахаев М.И., Лезина Е.А., Звягинцев А.М. О прогнозировании приземного озона в большом городе (на примере Москвы) // Оптика атмосферы и океана, 2007, т. 20, №7, с. 651-658.
16. Adee F., Shooter D. Variation of surface ozone in the ambient air of Auckland, New Zealand// Environ. Mon. Assess. 2004, v. 95, N. 1, p. 201-220.
17. Blankenhip E.E., Stefanski L.A. Statistical estimation of ozone exposure metrics. // Atmos. Environ. 2001, v. 35, N 26, 4499-4510.
18. Castell N., Mantilla E., Millan M.M. Analysis of tropospheric ozone concentration on a Western Mediterranean site: Castellon (Spain). // Environ. Monit. Assess. 2008, v. 136, N 1-3, p. 3-11.

19. Gionavelly G., Fortezza F., Minguzz L. Photochemical ozone transport in an industrial costal area./ In: Physico chemical behaviour of atmospheric pollutants (Proceedings of the Second European Symposium).- Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1981, p. 492.
20. Kalabokas P.D., Viras L.G., Bartzis J.G., Repapis Ch.C. Mediterranean rural ozone characteristics around the urban area of Athens. // Atmos. Environ. 2000, v. 34, N 29-30, p. 5199-5208.
21. Lasry F., Coll I., Fayet S., Havre M., Vautard R. Short-term measures for the control of ozone peaks: expertise from CTM simulations. // J. Atmos. Chem. 2007, v. 57, N 2, p. 107-134.
22. Liu G., Tarasick D.W., Fioletov V.E., Sioris Ch.E, Rochon Y.J. Ozone correlation lengths and measurement uncertainties from analysis of historical ozone sonde data in North America and Europe. // J. Geophys. Res. 2009, v. 114, D04112, doi: 10.1029/2008JD 010576.
23. Mittal M.L., Hess P.G., Jain S.L., Arya B.C., Sharma C. Surface ozone in the Indian region. // Atmos. Environ., 2007, v. 41, N 31, p. 6572-6584.
24. Reddy R.R., Rama Gopal K., Siva Sankara Reddy L., Narasimhulu K., Raghavendra Kumar K., Nareer Ahammed Y., Krishna Reddy C.V. Measurements of surface ozone at semi-arid site Anantapur (14.62°N, 77.65°E, 331m.asl) in India// J. Atmos. Chem. 2008, v. 59, N 1, p. 47-59.
25. Stasiuk W. N., Coffey P. E. Rural and urban ozone relationship in New York state.- J. Air Pollut. Contr. Assoc., 1974, vol. 24, №6, p. 564-568.
26. Tas E., Matveev V., Zingler J., Luria M., Peleg M. Frequency and extend of ozone destruction episodes over the Dead Sea, Israel. // Atmos. Environ, 2003, v. 37, N 34, p. 4769-4780.

Мезомасштабная мінливість концентрації озону в приземному шарі повітря в регіоні Томська (2010-2012 рр.)

Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давидов Д.К., Савкін Д.Є., Скляднева Т.К., Толмачев Г.М., Фофонов О.В.

На основі трирічних спостережень в приземному шарі повітря Томської області в роботі розглянуто особливості річного і добового ходу приземної концентрації озону на 4 постах з різними рівнями антропогенного забруднення (міським, приміським і фоновим) і вертикальний розподіл на території базового експериментального комплексу і обсерваторії «Фонова». Показано, що між постами спостерігаються помітні відмінності, як в річному, так і в добовому ході.

Ключові слова: атмосфера, повітря, мезомасштаб, озон

Mezoscale changeability of ozone concentration in the surface layer in the Tomsk region (2010-2012)

Arshinov M.Yu., Belan B.D., Davidov D.K., Savkin D.E., Sklyadneva T.K., Tolmachev G.N., Fofonov A.V.

On the basis of 3-year observation in the air surface layer in the Tomsk region, features of annual and day's motion of the ground concentration of ozone on 4 posts with different pollution levels (urban, suburban and background) and vertical distribution on the territory of base experimental station and the observatory "Fonovaya". It is shown, that between posts there are noticeable distinctions, both in annual, and in day's motion.

Keywords: atmosphere, air, mezoscale, ozone