

Г.С. Жамсуева¹, А.С. Заяханов¹, В.В. Цыдыпов¹,
А.А. Аюржанаев¹, Д. Азжая², Д. Оюнчимег²

Экспериментальные исследования малых газовых составляющих атмосферы аридных и полуаридных территорий Монголии

¹Отдел физических проблем Бурятского научного центра СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

²Институт метеорологии и гидрологии Монголии, г. Улан-Батор

Поступила в редакцию 23.12.2007 г.

Приведены результаты экспериментальных исследований суточной изменчивости приземного озона, оксидов азота, углекислого газа в атмосфере аридных и полуаридных территорий Монголии, полученные в ходе научных экспедиций 2005 и 2006 гг. Анализируются факторы, приводящие к повышенному содержанию малых газовых примесей, их связь с метеорологическими и турбулентными характеристиками атмосферы.

Введение

Процессы формирования химического состава и пространственно-временной изменчивости аэрозольных и газовых примесей в приземном слое атмосферы определяются сложным взаимодействием природных и антропогенных источников поступления примесей и зависят от природно-климатических факторов, определяющих особый режим циркуляционных процессов, характерных для данного региона. Значительное антропогенное воздействие малых газовых составляющих атмосферы на состояние окружающей природной среды, как в региональном, так и в глобальном масштабах, обуславливает необходимость систематических наблюдений за их содержанием в атмосфере, особенно в ее нижнем приземном слое [1].

Содержание озона, который играет ключевую роль в химии и фотохимических процессах в тропосфере, определяется его вертикальным переносом из верхних слоев атмосферы, а также его образованием в нижней тропосфере в результате фотохимических реакций с участием окислов азота и летучих органических соединений. Несмотря на огромный интерес к исследованиям приземного озона, механизмы его изменчивости с учетом вклада антропогенных и природных факторов остаются еще до конца не изученными [2–7].

Поэтому большой интерес представляют исследования малых газовых примесей и их взаимосвязь с метеорологическими параметрами атмосферы в различных природно-климатических условиях, особенно в атмосфере труднодоступных малонаселенных регионов, таких как обширные аридные территории Центральной Азии, в том числе пустыня Гоби, где такие исследования ранее не проводились.

Условия эксперимента

Совместные российско-монгольские эксперименты по комплексному изучению условий формирования, трансформации и переноса атмосферных примесей в аридных и полуаридных районах Восточной Гоби были начаты в 2005 г. отделом физических проблем Бурятского научного центра СО РАН и Институтом метеорологии и гидрологии Монголии в рамках Договора о научно-техническом сотрудничестве.

Пустыня Восточная Гоби — это территория, охватывающая восточную часть пустынь Центральной Азии. Она представляет собой высокую равнину, лежащую на уровне 1000 м и более. Пустыня Гоби удалена от океанов и морей, ее окружают высокие горы. Ближайший берег Тихого океана находится на расстоянии 1000 м от восточной границы Монголии, обрамляющие пустыню хребты сводят влияние океана к минимуму. Осадков за год выпадает менее 100 мм в восточных степных и предгорных равнинах [8].

На формирование климата района, кроме географического положения, в основном влияют такие факторы, как циркуляция воздушных масс, рельеф местности и лучистая энергия Солнца. На изменение свойств воздушных масс и их циркуляцию особое влияние оказывают хребты Алтай, Хангай, Хэнтий и Прихубсугуль. В связи с этим общая циркуляция воздушных масс изменяется и формируются местные циркуляции.

Измерения концентраций малых газовых примесей в атмосфере были проведены в июле 2005 г. в Восточно-Гобийском аймаке (ст. Сайншанд), в июне–июле 2006 г. на ст. Сайншанд и в Сухэ-Баторском аймаке Монголии (ст. Баруун-Урт).

Станции наблюдений располагались на территории Гидрометцентров, расположенных на значительном удалении от населенных пунктов. Станция Сайншанд (44°54' с.ш., 110°07' в.д.) расположена в аридной зоне (пустыня Гоби), характеризующейся полным отсутствием растительного покрова. Станция Баруун-Урт (46°41' с.ш., 113°17' в.д.) расположена в полуаридной степной зоне.

В каждом пункте были проведены круглосуточные непрерывные синхронные измерения концентраций приземного озона (O_3), окислов азота (NO_x), углекислого газа (CO_2) с помощью автоматизированной системы регистрации и статистической обработки результатов измерений. Отбор проб воздуха осуществлялся на высоте 2 м от земной поверхности. В состав автоматизированной системы входят: хемилюминесцентные газоанализаторы озона «З-02П1», окислов азота «Р-310» и оптический газоанализатор углекислого газа «ОПТОГАЗ 500.4» фирмы «ОПТЭК» (г. Санкт-Петербург), блок регистрации и обработки измерений. Относительная погрешность измерений не превышает $\pm 20\%$ [9]. Калибровка газоанализаторов осуществляется автоматически при помощи встроенных источников микропотоков. Для контроля точности измерений концентраций O_3 , NO_x периодически производилась калибровка внешним калибратором Mod. ML 8500 («Monitor Labs», США). Для измерения мгновенных значений температуры, влажности, скорости и направления ветра и турбулентных характеристик атмосферы использовалась автоматизированная ультразвуковая метеостанция «АМК-03», измерения радиационных характеристик проводились с помощью автономного солнечного фотометра SP-7.

Результаты измерений и обсуждение

На рис. 1 представлены среднесуточные вариации среднечасовых концентраций приземного озона (а), диоксида азота (б), а также полной энергии турбулентных движений (в), температуры и влажности воздуха (г, д) в районе ст. Сайншанд, измеренные в июле 2005 г.

Сравнение суточной динамики вариаций концентраций приземного озона и диоксида азота показывает, что в целом характер изменения их концентрации совпадает и определяется преимущественно циркуляционными процессами. Это свидетельствует о едином механизме их поступления в район наблюдений и связано, по-видимому, с их переносами из более дальних районов. Наблюдается достаточно высокая корреляция между средними 10-минутными значениями концентрации озона и диоксида азота ($r = 0,85$) за весь период наблюдений.

В течение всего периода наблюдений отмечены высокие концентрации приземного озона. Суточный ход среднечасовых значений концентраций приземного озона, усредненный за все время наблюдений, имеет минимальные значения 55 мкг/м^3 в утренние часы (06 ч) в период восхода солнца, затем наблюдается увеличение концентрации озона до 133 мкг/м^3 в дневные часы. Максимальные зна-

чения концентрации за весь период наблюдения достигали $150\text{--}160 \text{ мкг/м}^3$. При отсутствии антропогенных источников загрязнения атмосферы суточный ход концентрации озона обусловлен внутрисуточной динамикой слоя перемешивания и слоя ночной температурной инверсии вблизи земной поверхности. При интенсивном вертикальном перемешивании воздуха, наиболее сильном в послеполуденные часы, озон естественного происхождения, поступающий из свободной тропосферы, способен увеличить уровень приземного озона до $100\text{--}150 \text{ мкг/м}^3$ [3].

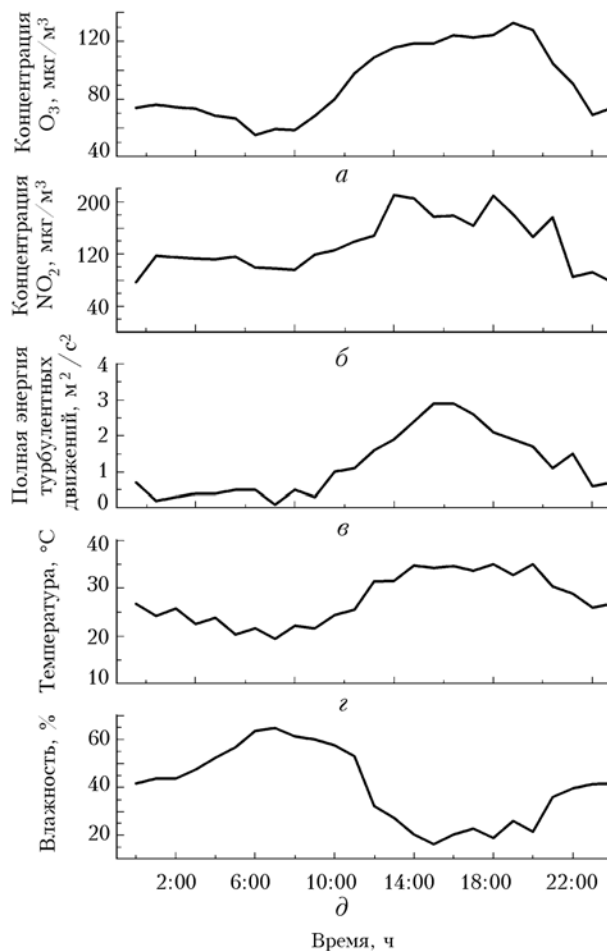


Рис. 1

Кроме того, в условиях повышенной солнечной активности в присутствии фотохимически активных реагентов происходит дополнительное фотохимическое образование озона, которое зависит как от метеорологических факторов, так и от концентраций загрязнителей. При достаточно высоких наблюдаемых концентрациях диоксида азота в атмосфере пустыни Гоби следовало ожидать усиление процессов фотодиссоциации NO_2 в дневные часы с образованием атомарного кислорода, затем и приземного озона.

Однако в наших экспериментах участия окислов азота в реакциях фотолиза и окисления с образованием или разрушением озона обнаружить не удалось. Окись азота как промежуточный про-

дукт реакций фотолиза при измерениях на ст. Сайншанд не проявляется или ее уровни ниже порога регистрации газоанализатора Р-310 и с учетом погрешности определения не превышают 4 мкг/м^3 . При этом возможно, что при достаточно высокой скорости образования и окисления оксида азота не происходит его накопление в атмосфере.

В ночные часы значительно возрастает интенсивность (а также мощность) ночных инверсий, препятствующих притоку озона из свободной тропосферы в приземный слой, что приводит к уменьшению ночной концентрации озона, увеличивается сток на поверхность, уменьшается время жизни озона в приземном слое атмосферы. При этом скорость разрушения озона за счет стока на земную поверхность не так высока, как в континентальных районах тропических и умеренных широт с активной вегетацией, о чем свидетельствуют относительно высокие уровни ночных концентраций озона (55 мкг/м^3). Подобное поведение слабого разрушения озона в засушливых районах, в частности в пустыне Сахара, также отмечено в работах [10, 11].

Судя по имеющимся публикациям, к сожалению, практически отсутствуют данные о концентрациях других фотохимически активных примесей в атмосфере аридных территорий, необходимые для сопоставления и анализа поведения приземного озона и других малых газовых примесей, предшественников озона. Возможно, существует и другой источник образования озона — озон генерируется на песчаной земной поверхности гипотетическим механизмом, связанным со статическим электричеством в условиях интенсивного солнечного излучения и слабого ветра.

Измерения и анализ суточной изменчивости озона, диоксида азота, углекислого газа на ст. Сайншанд, проведенные в летние периоды 2005–2006 гг., показали, что в 2006 г. среднесуточные концентрации приземного озона были выше на 15 мкг/м^3 , диоксида азота на 19 мкг/м^3 , углекислого газа на 10 ppm по сравнению с 2005 г. Амплитуда суточных вариаций концентраций приземного озона составила 52 мкг/м^3 (рис. 2, а), диоксида азота 82 мкг/м^3 (рис. 2, б), углекислого газа 6 ppm (рис. 2, в), что в среднем в 1,5–2 раза больше амплитуд суточных колебаний концентраций атмосферных примесей, наблюдаемых в 2005 г. Различия в средних значениях концентраций атмосферных примесей в 2005 и 2006 гг. связаны, прежде всего, с метеорологическими условиями, сложившимися во время экспериментов, и их влиянием на процессы переноса, образования и разрушения озона.

Метеорологические условия в период проведения экспериментов в июле 2005 г. характеризовались малооблачной, сухой и жаркой погодой с высокими средними дневными температурами до $+38 \text{ }^\circ\text{C}$, в отдельные дни выше $40 \text{ }^\circ\text{C}$. В июне–июле 2006 г. наблюдалась неустойчивая погода, дневные температуры воздуха были достаточно высокими, но не превышали $30\text{--}32 \text{ }^\circ\text{C}$. Такие условия за счет увеличения турбулентности способствуют более интенсивному перемешиванию воздушных масс и притоку озона из верхних слоев атмосферы.

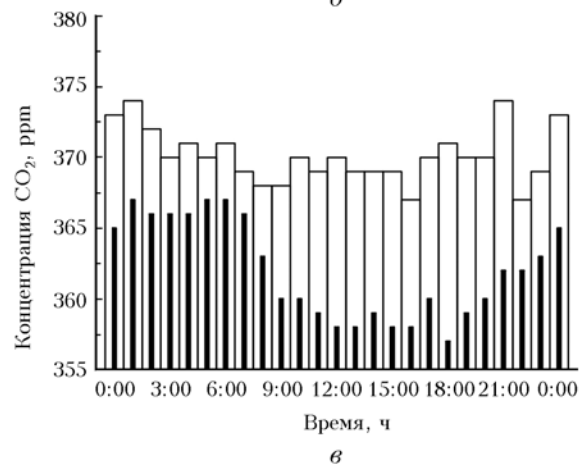
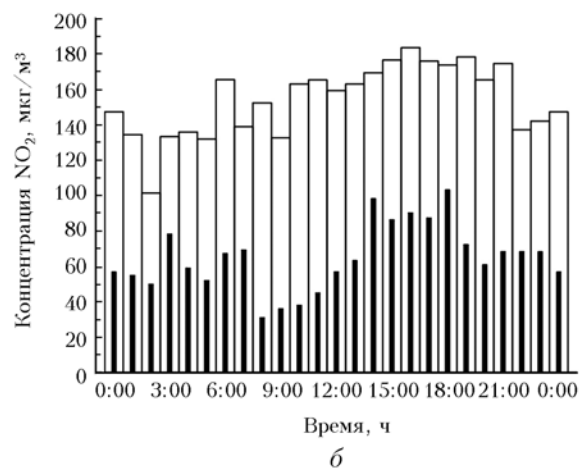
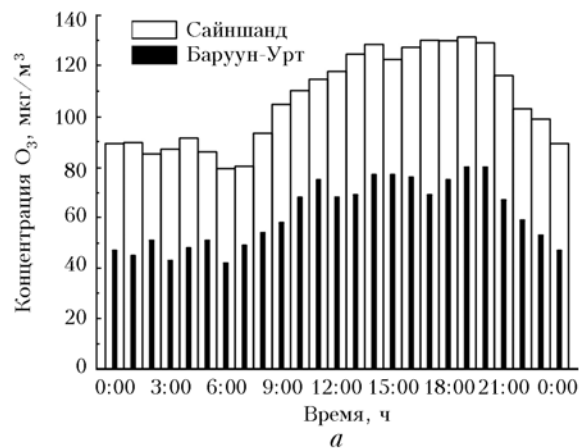


Рис. 2

Причинами высоких концентраций малых газовых примесей в атмосфере аридных территорий являются: почти полное отсутствие осадков в летнее время, способствующих вымыванию примесей в атмосфере, повышенный нагрев земной поверхности, не позволяющий легким примесям оседать на подстилающую поверхность, что в целом приводит к накоплению примесей в атмосфере. Подтверждением этому служит рис. 3, на котором представлен суточный ход вертикального потока тепла между подстилающей поверхностью и атмосферой по данным наблюдений на ст. Сайншанд и ст. Баруун-Урт.

Видно, что максимальное развитие термической турбулентности (приземной конвекции) наблюдается в дневные часы. В это время происходит усиленное перемешивание приземного воздуха с вышележащим слоем, имеет место значительный вертикальный поток тепла, направленный от подстилающей поверхности вверх.

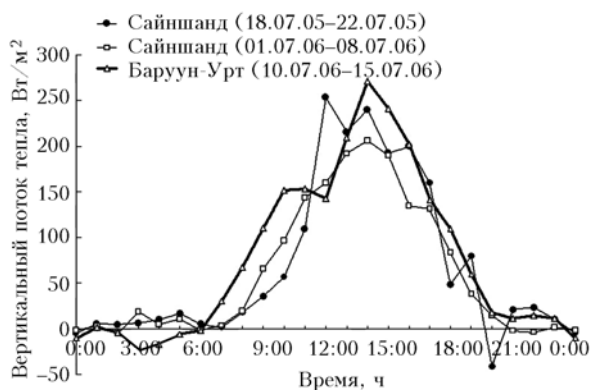


Рис. 3

Наблюдается высокая корреляционная связь между концентрациями газовых примесей в атмосфере и метеовеличинами. Коэффициенты корреляции между приземными концентрациями озона, диоксида азота и температурой воздуха составили 0,9 и 0,8 соответственно. Коэффициенты корреляции между приземными концентрациями озона, диоксида азота и относительной влажности равны $-0,9$ и $-0,7$ соответственно.

В период экспедиции в 2006 г. были проведены исследования поведения малых газовых примесей на ст. Баруун-Урт, расположенной на той же широте, что и ст. Сайншанд, удаленной на расстоянии 340 км на восток. По климатическим и природным условиям ст. Баруун-Урт относится к полупустынным территориям. На климат здесь влияют воздушные тихоокеанские массы.

Анализ данных концентраций малых газовых составляющих в приземном слое атмосферы на ст. Баруун-Урт показал, что значения концентраций атмосферных примесей значительно меньше, чем на ст. Сайншанд. Так, например, на ст. Баруун-Урт среднесуточные концентрации озона в приземном слое атмосферы на 45 мкг/м^3 , диоксида азота на 89 мкг/м^3 , углекислого газа на 8 ppм меньше среднесуточных концентраций, наблюдаемых на ст. Сайншанд (см. рис. 2).

Значения концентраций малых газовых примесей и характер их временного распределения на ст. Баруун-Урт соответствуют данным, полученным на континентальных станциях умеренных широт.

Наблюдения за содержанием углекислого газа в атмосфере аридной и полупустынной зон показали различие суточной изменчивости углекислого газа CO_2 . На рис. 4 представлены для сравнения кривые временной изменчивости концентраций CO_2 , полученные 6, 7 июля на ст. Сайншанд и 13, 14 июля 2006 г. на ст. Баруун-Урт.

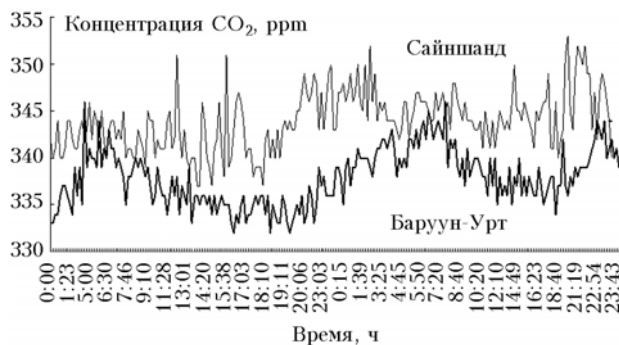


Рис. 4

Видно, что суточный ход концентраций углекислого газа на ст. Баруун-Урт более выражен, чем на ст. Сайншанд. Содержание углекислого газа в атмосфере на ст. Сайншанд выше, чем на ст. Баруун-Урт, и сравнительно мало меняется в течение суток, что связано с отсутствием процессов фотосинтеза. На ст. Баруун-Урт благодаря растительности, усваивающей CO_2 при участии солнечного света, в приземном слое воздуха содержание углекислого газа в ясные дни уменьшается днем и возрастает ночью.

Заключение

Высокие концентрации приземного озона, диоксида азота и других малых газовых примесей в атмосфере аридных территорий при отсутствии близкорасположенных антропогенных источников связаны, в основном, с динамическими процессами и циркуляцией воздушных масс в этих широтах, характеризующихся как «пояс пустынь», способствующих дальнейшему переносу малых газовых примесей, в том числе из территорий, подверженных антропогенному загрязнению.

Отсутствие осадков, повышенный нагрев подстилающей земной поверхности и вертикальные конвективные потоки в течение длительного периода времени способствуют накоплению атмосферных примесей в приземном слое атмосферы, усилению дневного обмена приземного слоя с вышележащими слоями и фотохимической генерации озона, что приводит к высоким дневным концентрациям озона.

Работа выполнена при финансовой поддержке комплексных интеграционных проектов СО РАН № 3.14 и 3.23.

1. Ровинский Ф.Я., Егоров В.И. Озон, окислы азота и сера в нижней тропосфере. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 184 с.
2. Звягинцев А.М., Крученицкий Г.М. О пространственно-временных связях приземной концентрации озона в Европе // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1997. Т. 33. № 1. С. 104–113.
3. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н. Изменчивость приземного озона в окрестностях Москвы: результаты десятилетних регулярных наблюдений // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2002. Т. 38. № 4. С. 486–495.
4. Захаров И.С., Кузнецов Г.И., Тарасова О.А. Сезонные вариации вкладов различных процессов в наблю-

- даемую изменчивость приземного озона над Европой: Тезисы докл. // Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2004», М., апрель, 2004. С. 109–111.
5. *Заяханов А.С., Жамсуева Г.С., Бутуханов В.П., Ломухин Ю.Л.* Концентрация озона и окислов азота в приземном слое атмосферы озера Байкал // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19. № 7. С. 635–640.
 6. *Демин В.И., Белоглазов М.И., Еланский Н.Ф.* О связи приземной концентрации озона и высоты слоя перемешивания // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17. № 8. С. 662–665.
 7. *Демин В.И., Белоглазов М.И.* О влиянии местных циркуляционных процессов на динамику приземного озона // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17. № 4. С. 331–333.
 8. *Бабаев А.Г., Дроздов Н.Н., Зонн И.С., Фрейкин З.Г.* Пустыни. М.: Мысль, 1986. 318 с.
 9. *Бутуханов В.П., Жамсуева Г.С., Заяханов А.С., Ломухин Ю.Л., Цыдытов Б.З., Цыдытов В.В.* Связь концентрации озона с концентрацией окислов азота и температурой воздуха в приземном слое атмосферы г. Улан-Удэ // Метеорол. и гидрол. 2005. № 10. С. 21–32.
 10. *Хргиан А.Х.* Физика атмосферы. Л.: Гидрометеониздат, 1969. 647 с.
 11. *Арлетт Васси.* Атмосферный озон. М.: Мир, 1968. 83 с.

G.S. Zhamsueva, A.S. Zayakhanov, V.V. Tsydyrov, A.A. Ayurzhanayev, D. Azzaya, D. Oyunchimeg.
Experimental studies of trace gases in the atmosphere of arid and semi-arid territories of Mongolia.

Results of experimental studies of diurnal variability of the ground ozone, CO₂ and nitrogen oxides in the atmosphere of arid and semi-arid territories of Mongolia, obtained in researching expeditions of 2005 and 2006, are presented. Factors, leading to increased concentrations of trace gas admixtures, their connection with meteorological and turbulent characteristics of the atmosphere are under analysis.