

**А.С. Козлов, С.Э. Пашенко, С.И. Еременко, А.М. Бакланов,
С.Б. Малышкин, Э.С. Олехнович, С.А. Иващенко**

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА АЭРОЗОЛЯ И КОНЦЕНТРАЦИИ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ В УМЕРЕННОЙ И АРКТИЧЕСКОЙ ВОЗДУШНЫХ МАССАХ

Приведены данные о дисперсном составе аэрозоля и концентрации малых газовых примесей в приземном слое атмосферы для умеренной и арктической воздушных масс, полученные в экспедиционных условиях, в отдалении от крупных источников антропогенных выбросов (п. Чик, НСО, 20–26.02.1996). Обсуждается взаимосвязь характеристик аэрозоля, малых газовых примесей и метеопараметров.

Атмосферные аэрозоли влияют на радиационный баланс Земли по-разному. Обратное рассеивание (отражение назад в космос) и поглощение солнечного излучения аэрозольными частицами уменьшают количество энергии, получаемое поверхностью [1]. Это так называемый «эффект белого дома» или прямой аэрозольный эффект, обеспечивающий охлаждение Земли. Другой механизм (косвенный аэрозольный эффект) состоит в том, что аэрозольные частицы влияют на радиационный баланс, участвуя в образовании облаков. По данным GHCN (Global Historical Climate Network), за прошедшее столетие максимальное потепление, около 3°C/век, наблюдалось в Сибирском регионе, при среднемировом потеплении 0,4°C/век. Таким образом, с климатологической точки зрения Сибирь является объектом достаточно важным и своеобразным. В это же время атмосферный аэрозоль Сибири изучен гораздо слабее, чем в других регионах.

Расположение и метеоусловия

Исследования проводились на базе передвижной экологической лаборатории группы «ЭКОС» ИХКиГ СО РАН. Лаборатория позволяет вести непрерывные круглосуточные измерения ряда показателей газовых и аэрозольных примесей в атмосфере.

Спектр размеров аэрозолей измерялся комплексом из фотоэлектрического счетчика АЗ-6 и диффузионного спектрометра аэрозолей ДСА на базе сетчатой диффузионной батареи. В настоящей статье рассматриваются следующие характеристики спектра размеров:

- счетная концентрация частиц крупнодисперсной (размером более 0,7 мкм) фракции (АЗ-6);
- общая поверхность частиц размером более 0,7 мкм;
- счетная концентрация частиц высокодисперсной фракции, от 2 до 300 нм (ДСА);
- счетная концентрация частиц в диапазоне 2–4 нм (ультрадисперсная фракция). Левая граница диапазона определяется порогом конденсационного укрупнителя, правая – осаднением на сетках первого каскада батарей.

Массовая концентрация аэрозоля сульфата аммония определялась при помощи термоденудерной системы [2] и флуоресцентного SO₂-анализатора. Тот же анализатор использовался для определения газовой составляющей диоксида серы.

В задачи экспедиции входило исследование дисперсного состава аэрозоля и концентрации малых газовых примесей в воздушных массах, при этом, по возможности, исключалось влияние антропогенных выбросов Новосибирска. Для этих целей было выбрано место в районе пос. Чик.

Поселок Чик расположен в 30 км к западу от Новосибирска, точка измерений находилась еще на 4 км севернее. Место характеризуется относительно большим расстоянием до населенных пунктов (п. Чик – ближайший) и соответственно малой плотностью источников антропогенных выбросов. В период проведения экспедиции метеоусловия складывались следующим образом (рис. 1). С 20 по 22 февраля наблюдалось юго-западное направление ветра с характерной скоростью 2 м/с, что соответствует умеренной воздушной массе (в обозначениях [3]). С 24 по 26 февраля установился северный ветер со средней скоростью 3 м/с, относящийся к арк-

тической воздушной массе [3]. Оправданность подобных обозначений подтверждается данными Западно-Сибирского управления гидрометеослужбы за соответствующий период. Из последних следует, что умеренная воздушная масса до точки измерения проходила район Южного Урала, а арктическая – полуостров Диксон. В течение полутора суток 22–23 февраля происходила смена воздушных масс. Для подобных атмосферных изменений характерно повышение концентрации озона (см. рис. 1), обусловленное занесением последнего из вышележащих слоев, в связи с усилением вертикального переноса.

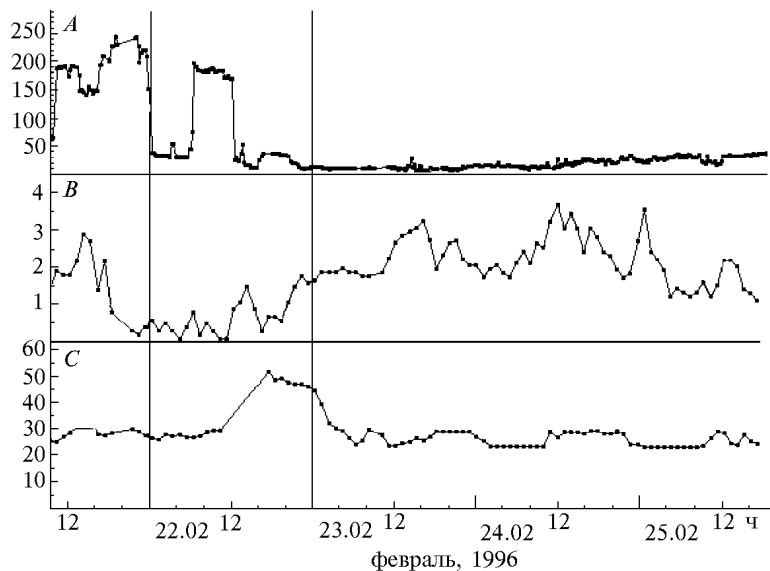
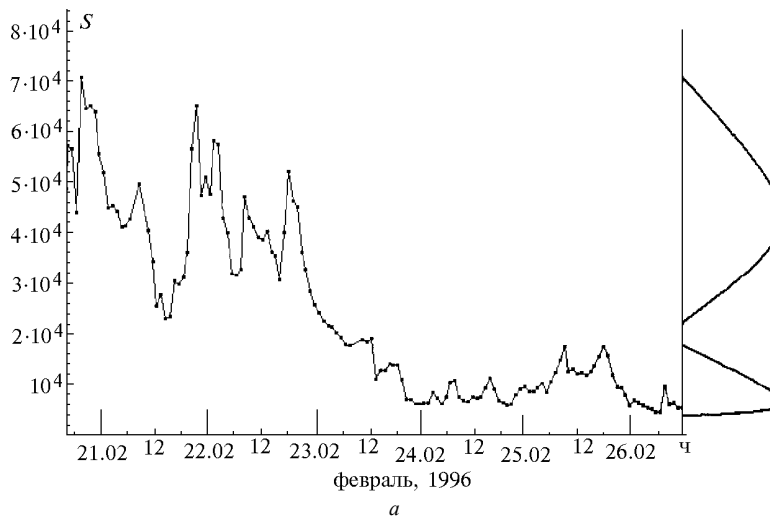


Рис. 1. Метеорологические характеристики во время экспедиции: *A* – направление ветра, град.; *B* – скорость ветра, м/с; *C* – концентрация озона, ppb в Чике

Аэрозольные измерения

Перемена воздушных масс отразилась на концентрации и дисперсном составе аэрозольных частиц. Для умеренной воздушной массы (20–22 февраля) характерная счетная концентрация крупнодисперсных частиц составляла 35 частиц в 1 см^3 , в переходный период (22–24) концентрация равномерно спадала и в арктической воздушной массе достигла фонового значения $4/\text{см}^3$ с подъемами в дневное время, т.е. с суточным ходом.

Подобным же образом изменялась и общая (суммарная) удельная поверхность частиц этой фракции (рис. 2,*a*), которая составляла $40 \text{ мкм}^2/\text{см}^3$ для умеренной воздушной массы и $5 \text{ мкм}^2/\text{см}^3$ в арктической массе с дневными увеличениями до $13 \text{ мкм}^2/\text{см}^3$.



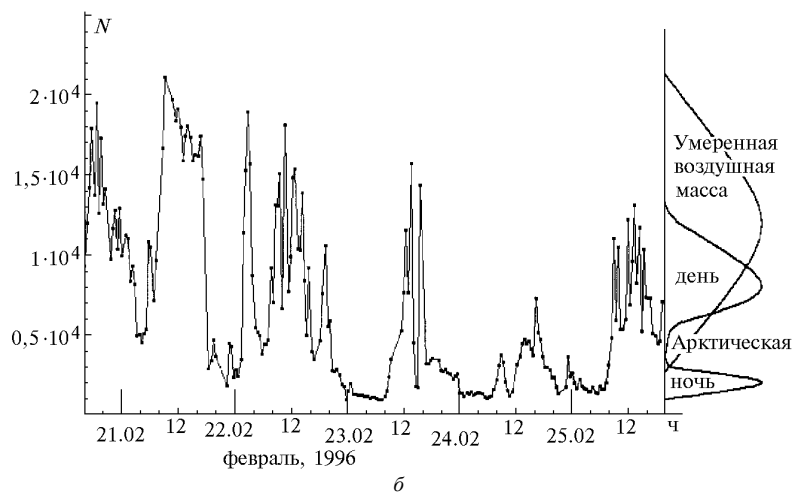


Рис. 2. Изменение общей удельной поверхности аэрозольных частиц (S , $\mu\text{м}^2/\text{л}$) диаметром более $0,7 \mu\text{м}$ (а) и счетной концентрации частиц N высокодисперсной фракции в 1 см^3 с частотным спектром в Чике

Во фракции высокодисперсных частиц, в период прохождения умеренной воздушной массы, наблюдались резкие стохастические колебания концентрации на уровне 11000 частиц в 1 см^3 , уже в переходный период концентрация упала до фонового уровня $2000/\text{см}^3$ с четко выделенным суточным ходом до $15000/\text{см}^3$. Для умеренной воздушной массы, дневных и фоновых (ночных) участков арктической массы частотные спектры приведены на рис. 2,б.

Средняя концентрация ультрадисперсной фракции ($2\text{--}4 \text{ нм}$) для умеренной воздушной массы составляла 40 частиц в 1 см^3 и с начала переходного периода принимала фоновое значение $10/\text{см}^3$ с дневными пиками до $180/\text{см}^3$.

Отличительной чертой концентрации частиц этой фракции в арктической воздушной массе является ее низкий ночной уровень при полном отсутствии значительных пиков. После захода Солнца концентрация этих частиц монотонно падает в течение $3\text{--}5$ ч.

Измерения химического состава и концентрации газовых примесей

Одновременно с параметрами аэрозольных частиц измерялась массовая концентрация сульфата аммония (рис. 3) и его основного продуцента – диоксида серы. Анализ данных показывает, что для арктической воздушной массы можно выделить суточный ход концентрации сульфата аммония на фоне его синоптического хода (выделенная кривая проведена по ночным точкам). Длительность дневного пика сульфата аммония составила $10 \pm 20\%$ ч. Начало нарастания сульфатов сдвинуто на $3\text{--}4$ ч относительно освещенности. Максимум дневной концентрации приходится на начало понижения освещенности (17 ч местного времени). Дополнительно следует отметить, что скорость роста концентрации при дневном освещении в 9 раз превышает значение, найденное по ночным точкам.

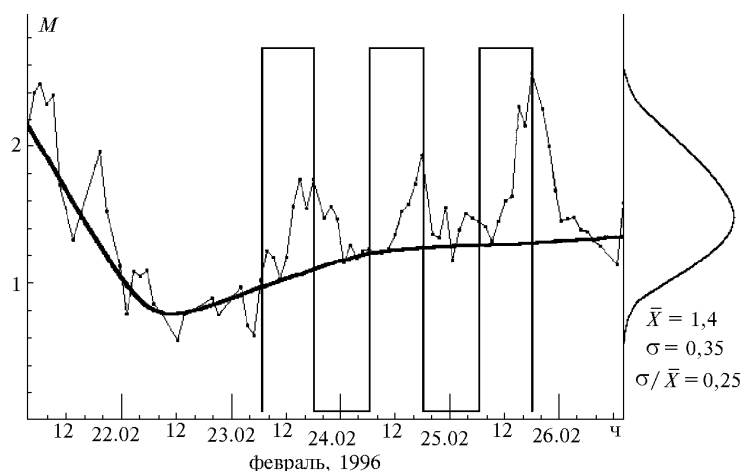


Рис. 3. Массовая концентрация сульфата аммония в аэрозольных частицах (M , $\mu\text{г}/\text{м}^3$) с частотным спектром в Чике (меандром выделено светлое время суток)

По сравнению с общей концентрацией аэрозолей, которая при смене воздушной массы изменилась на порядок, концентрация сульфатного аэрозоля менялась незначительно (относительное стандартное отклонение 25 %). Подобным образом ведет себя и концентрация диоксида серы, средний уровень которой оставался в пределах 4–6 ppb за весь период измерения.

Обсуждение результатов

Аэрозоль сульфата аммония

Анализ поведения атмосферного давления во время экспедиции показал, что 12–13 февраля произошло резкое повышение давления до максимального значения для зимы 96-го года (770–775 мм рт.ст.). В следующие 5–6 дней давление оставалось на том же высоком уровне, что для этой зимы является рекордным. С 19 февраля давление начало падать со средним градиентом около 5 мм рт.ст./сут, а с 22 февраля градиент давления стал положительным и составил 3 мм рт.ст./сут. Отметим, что поведение сульфата аммония в эти дни практически совпадает с поведением атмосферного давления. Минимумы обоих совпадают с точностью до половины суток.

Выделение чистых условий по величине общей удельной поверхности аэрозольных частиц

В ходе экспедиции, при смене воздушных масс, наблюдалось понижение общей удельной поверхности частиц диаметром более 0,7 мкм. Последняя изменилась с 45 до 5 мкм²/см³ (см. рис. 2,а). Из литературы известно, что такая же удельная поверхность аэрозолей наблюдается практически над всей площадью Тихого океана [4]. По данным [5], и на Гавайских островах в чистых воздушных массах, по утверждению автора, при площади гетерогенной поверхности примерно 4 мкм/см³ наблюдалось образование новых высокодисперсных частиц (3–4 нм) из газовой фазы. Можно предположить, что и в нашей ситуации при такой же площади преобладают гомогенные механизмы образования частиц. Это позволяет выделить период прохождения арктической воздушной массы как особо чистую ситуацию.

Дневные пики концентрации высокодисперсных частиц в чистых условиях

В условиях умеренной воздушной массы пики концентрации частиц размером менее 300 нм случайным образом наблюдались в любое время суток (см. рис. 2,б).

Напротив, в арктической воздушной массе увеличение концентрации четко связано с уровнем освещенности. Данная взаимосвязь может быть обусловлена фотохимическими процессами, например реакцией диоксида серы с ОН-радикалами, которые, по некоторым данным [6], возникают в присутствии солнечного света.

Связь концентрации ультрамалых частиц с освещенностью

Одна из схем образования ультрамалых частиц предполагает, что с появлением освещенности в чистых атмосферных условиях рост частиц из газовых молекул может начинаться с образования большого числа димеров, меньшего числа тримеров и так далее [7]. Процесс продолжается, пока частицы не достигнут достаточной для квазистабильного состояния величины. Наша аппаратура регистрирует частицы начиная с диаметра около 2 нм. Мы выделяем фракцию ультрадисперсного аэрозоля (2–4 нм) как индикатор процесса образования новых частиц гомогенной конденсацией из газовой фазы. По-видимому, именно такой процесс мы наблюдали в Чике в чистых условиях (24–26 февраля, рис. 4). С восходом Солнца концентрация малых частиц резко нарастала, при этом их средний размер уменьшался с 37 нм в 5 ч утра до 11 нм в 13 ч дня (рис. 5) [8]. Концентрация ультрадисперсной фракции достигала максимума днем, а ночью спадала до нуля. После захода Солнца убыль частиц происходила не так резко, как их утреннее нарастание, и растягивалась на 2–4 ч.

С учетом поведения концентрации высокодисперсных частиц и незначительной величины гетерогенной поверхности аэрозольных частиц можно предположить, что дневной рост концентрации сульфата аммония в атмосфере [9] связан с гомогенным образованием новых частиц преимущественно сульфатного состава [10]. К этой же точке зрения склоняются и авторы работы [4], проводившие экспедиции в чистых воздушных массах Тихого океана.

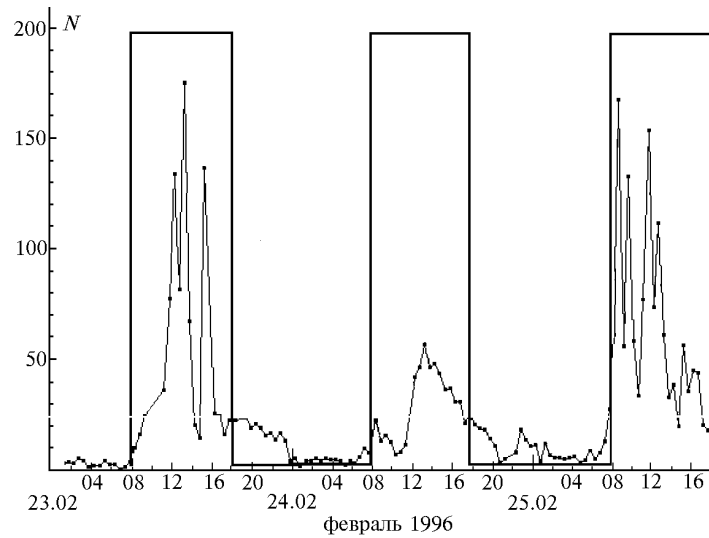


Рис. 4. Концентрация ультрамалых частиц N в 1 см^3 в арктической воздушной массе (меандром указано светлое время суток)

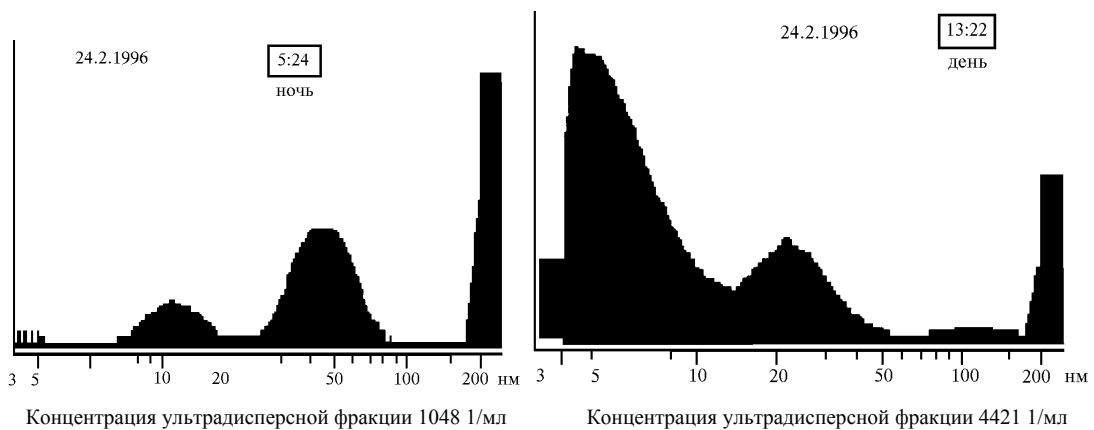


Рис. 5. Функции распределения по размерам частиц высокодисперсной фракции ночью и днем

Заключение

В результате проведенных измерений в экспедиционных условиях выделены по метеопараметрам арктическая и умеренная воздушные массы, измерены параметры аэрозоля и концентрации малых газовых примесей, характерные для этих воздушных масс и в период их смены. Установлено, что характеристики аэрозольной фазы (концентрация, удельная поверхность и пр.) в исследованных воздушных массах отличаются на порядок, тогда как изменение концентрации аэрозоля сульфата аммония не превышало 25%. На основании этого выдвинуто предположение об эффективном перемешивании сульфата аммония в Северном полушарии.

В арктической воздушной массе обнаружен четко выраженный суточный ход некоторых измеряемых компонентов атмосферы (концентрации малых частиц, сульфата аммония и пр.). При этом показано, что скорость роста концентрации сульфата при дневной освещенности в 9 раз превышает соответствующее значение, посчитанное по ночным точкам.

Полученные результаты и анализ немногочисленных данных для чистых регионов Земли (Тихий океан, Гавайские острова) показывают, что в арктической сибирской воздушной массе образование сульфатного аэрозоля происходит в основном по механизму гомогенной конденсации.

1. Charlson R. J. et. al. Perturbation of the northern hemisphere radiative balance by sulphate aerosols // *Tellus*. 1992. 43AВ. P. 152–163.
2. Slanina J., Schoonebeek C. A. M., Klockow D., Niessner R. // *Anal. Chem.* 1985. V. 57. N 9. P. 1955.

3. Белан Б. Д. Результаты комплексных экспериментов «Вертикаль-86» и «Вертикаль-87». Томск, 1989.
4. Clarke A. D. // J. Atmos. Chem. 1992. V. 14. P. 479–488.
5. Weber R. J., McMurry P. H. // J. Geoph. Res. 1994. N 887. P. 1–24.
6. Pandis S. N., Wexler A. S., Seinfeld J. H. // J. Phys. Chem. 1995. V. 99. P. 9646–9659.
7. Пашенко С. Э., Сабельфельд К. К. Атмосферный и техногенный аэрозоль (Кинетические, электронно-зондовые и численные методы исследования). Ч. II. Новосибирск: АН РАН, 1993.
8. Bashurova V. S., Dreiling V., Hodger T. V., Jaenice R., Koutsenogii K. P., Kraimer M., Makarov V. I., Obolkin V. O., Potjomkin V. L., Pusep A. Y. // J. Aerosol Sci. 1992. V. 23. N 2. P. 191–199.
9. Clegg S. L., Brimblecombe P. // J. Aerosol Sci. 1995. V. 26. N 1. P. 19–38.
10. Виноградова А. А., Полиссар А. В. // Изв. АН. Сер. ФАО. 1995. Т. 31. С. 264–274.

Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск,
 Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу
 окружающей среды, Новосибирск

Поступила в редакцию
 16 января 1997 г.

A. S. Kozlov, S. E. Pashchenko, S. I. Eremanko, A. M. Baklanov,
 S. B. Malyshkin, E. S. Olekhovich, S. A. Ivashchenko. **Research of Aerosol Size Distribution
 and Trace Gases Concentration in Arctic and Continental Air.**

Aerosol size distribution and trace gases concentration data in atmospheric boundary layer are given for Arctic and Continental air. Data were measured remotely from anthropogenic pollution sources in Siberia. Interrelation of aerosol characteristics, trace gases, and meteorological parameters are discussed.