

В.Г. Аршинова, Б.Д. Белан, Г.А. Ивлев, Т.М. Рассказчикова,  
Д.В. Симоненков, Г.Н. Толмачев, А.В. Фофонов

## Комплексная оценка состояния воздушного бассейна Норильского промышленного района.

### Ч. 4. Вертикальная стратификация примесей

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 23.01.2006 г.

Измерения вертикального распределения примесей и температуры воздуха выявило в течение всего эксперимента наличие перманентной инверсии с высотой около 1 км, которая не позволяет распространяться выбросам вверх. Климатические данные показывают, что такая инверсия не разрушается даже днем с сентября по апрель во всем регионе. Даже летом, в дневное время, в регионе имеется задерживающий слой на высоте 900–1000 м. Поэтому наращивание заводских труб до 500 м не имеет смысла, так как выбросы все равно будут распространяться под слоем инверсии и их рассеивание не улучшится. Несмотря на высокие концентрации озона, его происхождение скорее стратосферное, чем фотохимическое. Растительность вокруг Норильска, даже при сильной антропогенной нагрузке, в летний период аккумулирует углерод. Поле аэрозоля над Норильском имеет слоистый характер, с максимумом концентрации в приземном либо пограничном слоях.

Известно несколько подходов к оценке вертикальной стратификации атмосферы. Одни основываются на градиентном методе [1], другие используют всевозможные численные показатели [2], которые чаще применяются в теоретических расчетах [3]. В данной статье проведем анализ, основываясь на данных прямых измерений. Для этого рассмотрим температурную стратификацию атмосферы, ее влияние на распределение примесей по вертикали и оценим деятельность растительности по изменению вертикального распределения углекислого газа.

Вернемся к прогнозу возможного усиления фотохимических процессов в летнее время, сделанному в [4]. Напомним, что одной из целей работы [4] была оценка вертикальной стратификации температуры воздуха в районе г. Норильска и целесообразности наращивания труб комбината с целью улучшения рассеивания примесей. Тогда по климатическим данным было показано, что это нецелесообразно, так как и в летнее время в этом районе должна наблюдаться устойчивая стратификация.

Как видно из рис. 1, вывод, основанный на климатических данных, полностью оправдался. Для сравнения на графике приведена стратификация (точками), которая соответствует сухоадиабатическому градиенту, т.е. конвективным условиям [1]. Фактическая стратификация оказалась устойчивой как в начале полета (утром), так и на посадке (вечером). Такие же данные получены и в других полетах.

Еще большее «открытие» ожидает нас, если сопоставить вертикальные профили температуры для зимнего и летнего сезонов (рис. 2).

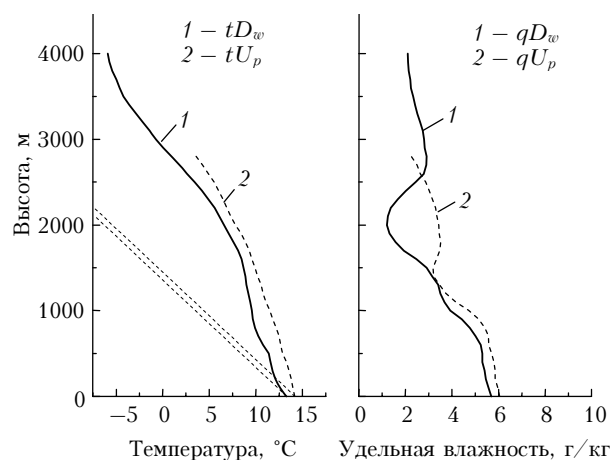


Рис. 1. Вертикальное распределение температуры воздуха и удельной влажности в одном из летних полетов в Норильске:  $U_p$  – на взлете,  $D_w$  – на посадке

Из рис. 2 видно, что кривые температуры воздуха от зимы к лету почти не изменили наклон. Следовательно, температурная стратификация в Норильске мало зависит от времени года, хотя сама температура воздуха сезонный ход отслеживает, увеличивая свою абсолютную величину в теплый период.

По-видимому, это характерная особенность атмосферы высоких широт. К подобному выводу пришли и авторы [5] на основании самолетного эксперимента в течение всего теплого периода в Якутске.

Такая стратификация естественным образом скапливает на накоплении примесей в пограничном

слое атмосферы. Обратимся к профилям сернистого ангидрида, приведенным на рис. 3, из которого следует, что когда аэропорт находится вне зоны влияния выбросов предприятий, стратификация сернистого ангидрида близка к фоновой и нейтральной. Если же это воздействие появляется, то оно наблюдается только в пограничном слое.

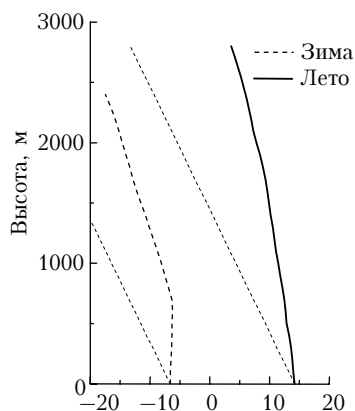


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры воздуха над Норильском зимой 2002 г. и летом 2004 г.

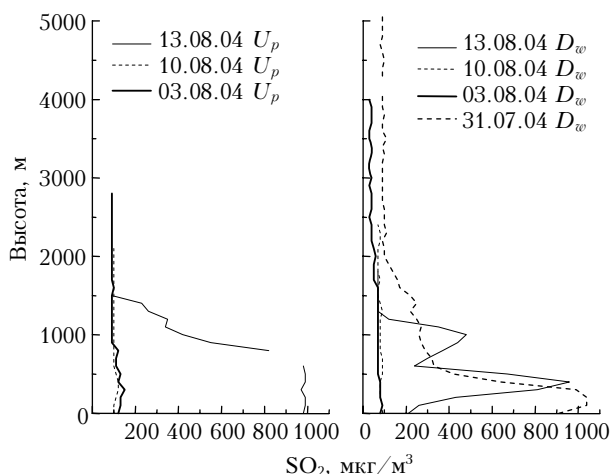


Рис. 3. Вертикальное распределение диоксида серы в летний период над Норильском

Как видно из рис. 3, концентрация газа выше 2000 м становится фоновой. Следовательно, устойчивая стратификация и летом не позволяет примесям в Норильском районе подниматься вверх. Хотя несомненно высота слоя перемешивания летом больше, что обусловлено физическими механизмами его формирования [6].

На основании измерений в холодный период года в [4] было высказано предположение, что в Норильске в летний период могут интенсивно развиваться фотохимические процессы. Это вывод был сделан по данным об относительно высокой концентрации озона.

Если мы сопоставим данные летнего и зимнего экспериментов (рис. 4), то, на первый взгляд, покажется, что это предположение оправдалось.

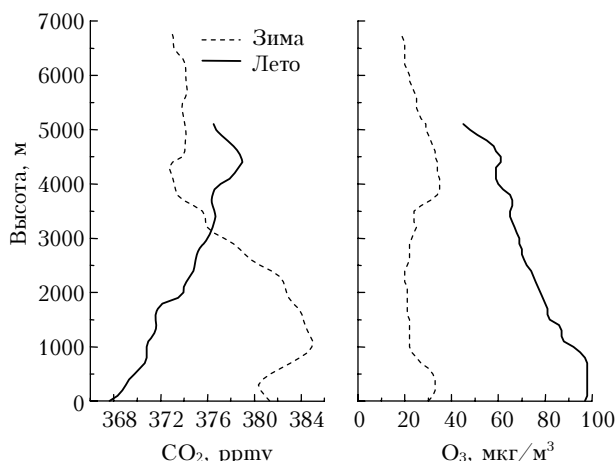


Рис. 4. Вертикальное распределение диоксида углерода и озона в ноябре 2002 г. и августе 2004 г.

Из рис. 4 видно, что концентрация озона возросла в летний период более чем в 3 раза. Но, как следует из наземных измерений, концентрация озона в городе невысока (20–40  $\mu\text{г}/\text{м}^3$ ). Имеется и еще одно обстоятельство, ставящее под сомнение доминирование фотохимического механизма образования озона в регионе. Это нейтральный ход его вертикального распределения, не отражающий уровень слоя перемешивания и малый наклон самой прямой, что не характерно при фотохимической генерации [7]. Наиболее вероятно, что близость региона к полярным широтам приводит к значительному поступлению озона из стратосферы [8], на которое накладывается небольшая генерация в пограничном слое атмосферы. В результате сложения этих двух факторов и повышается его концентрация.

И еще одно обстоятельство, на которое следует обратить внимание, — это различия в вертикальном распределении  $\text{CO}_2$  в зимний и летний периоды (см. рис. 4). Видно, что в зимний период концентрация углекислого газа составляет  $382 \text{ млн}^{-1}$ , в летний —  $368 \text{ млн}^{-1}$ . Поскольку в этом районе основным поглотителем  $\text{CO}_2$  может быть только растительность, то становится ясно, что, несмотря на негативную оценку состояния растительности г. Норильска, имеющуюся в [9], она продолжает выполнять свою функцию — аккумулировать углерод.

Перейдем к анализу вертикального распределения химического состава аэрозоля. Для этого будут использоваться все отобранные пробы в двух комбинациях с учетом шлейфов и без.

Как было показано нами ранее [10], для атмосферного аэрозоля характерно слоистое распределение с высотой. Наличие городских колонок приводит к тому, что частицы, образовавшиеся в выбросах, в конечном итоге оседают на подстилающую поверхность [11]. Это происходит и в Норильске (рис. 5), независимо от того, какую рассматривать характеристику: суммарную или отдельного соединения или элемента.

Как видно из рис. 5, наибольшая концентрация аэрозоля и его составляющих наблюдается

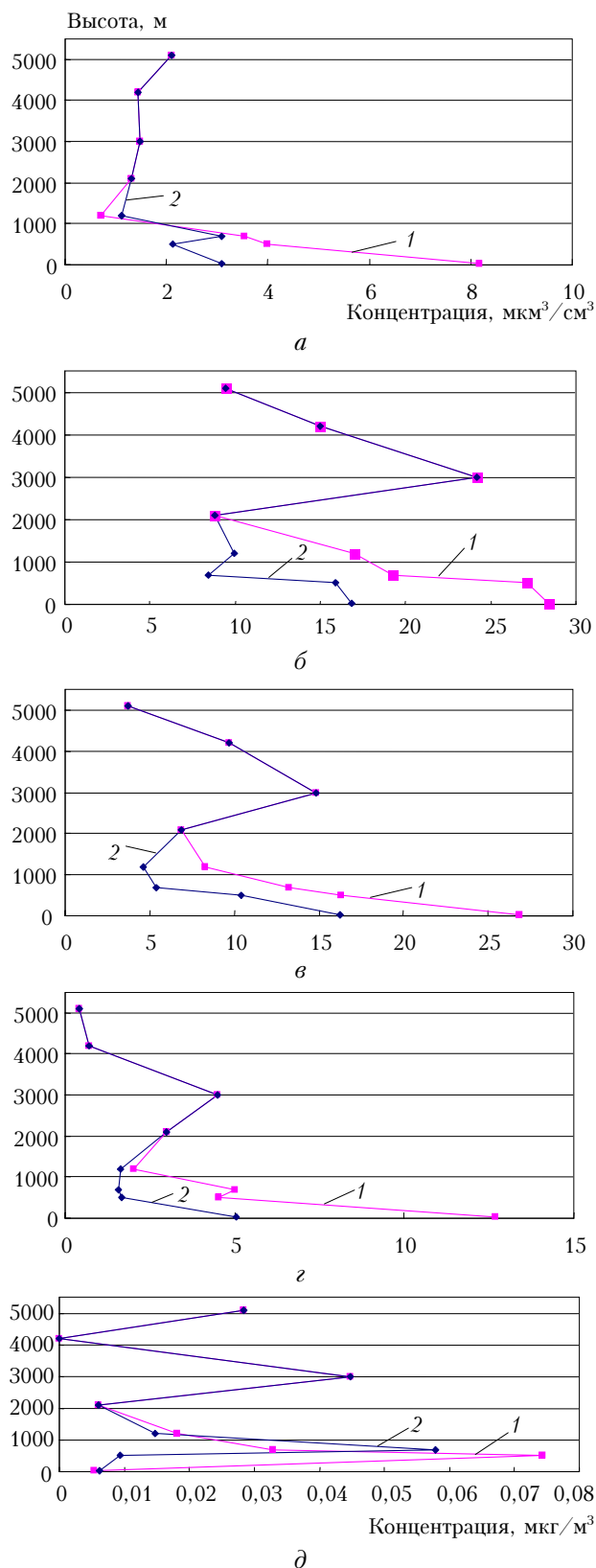


Рис. 5. Вертикальные распределения объемной концентрации аэрозоля (а); идентифицируемой части аэрозоля (б); суммы ионов (в); ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  (г); свинецсодержащих соединений (д): кривая 1 – все пробы; 2 – пробы вне шлейфов

в приземном или пограничном слоях. Выше, как правило, концентрация убывает. Вместе с тем следует обратить внимание на уровень 3000 м, где имеется вторичный максимум. Так как стратификация атмосферы в Норильске устойчивая, вряд ли на эту высоту попадают местные выбросы. Скорее всего, это трансграничный перенос из соседних регионов.

## Заключение

Итак, измерения вертикального распределения примесей и температуры воздуха выявили наличие в течение всего года перманентной инверсии с высотой около 1 км, которая не позволяет распространяться выбросам вверх. Климатические данные показывают, что такая инверсия не разрушается даже днем с сентября по апрель во всем регионе. Даже летом, в дневное время, в регионе имеется задерживающий слой на высоте 900–1000 м. Поэтому наращивание заводских труб до 500 м не имеет смысла, так как выбросы все равно будут распространяться под слоем инверсии и их рассеивание не улучшится.

Несмотря на высокие концентрации озона, его происхождение скорее стратосферное, чем фотохимическое.

Растительность вокруг Норильска, даже при сильной антропогенной нагрузке, в летний период аккумулирует углерод.

Поле аэрозоля над Норильском имеет слоистый характер, с максимумом концентрации в приземном либо пограничном слоях.

Работа выполнена по программе СО РАН 24.3, при поддержке междисциплинарного проекта СО РАН № 130, программы Президиума РАН № 13, грантов РФФИ № 04-05-64559 и 04-05-08010.

1. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. СПб.: Гидрометеониздат, 2000. 780 с.
2. Essa K.S.M., Etman S.M., Embaby M. Air pollutant concentration and its location under different thermal stability classes // Meteorol. and Atmos. Phys. 2003. V. 83. N 3–4. P. 123–129.
3. Ньюстедт Ф.Т.М., Ван Дан Х. (ред.) Атмосферная турбулентность и моделирование примесей. Л.: Гидрометеониздат, 1985. 352 с.
4. Комплексная оценка состояния воздушного бассейна Норильского промышленного района в 2002–2003 гг.: Отчет о НИР. Томск: ИОА СО РАН, 2003. № гос. регистрации 0120.0301390. 174 с.
5. Струнин М.А., Хияма Т. Самолетные исследования атмосферного пограничного слоя над долиной реки Лены. Ч. 1. Мезомасштабная структура // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2005. Т. 41. № 2. С. 178–200.
6. Белан Б.Д. Динамика слоя перемешивания по аэрозольным данным // Оптика атмосф. и океана. 1994. Т. 7. № 8. С. 1044–1054.
7. Белан Б.Д. Проблема тропосферного озона и некоторые результаты его измерений // Оптика атмосф. и океана. 1996. Т. 9. № 9. С. 1184–1213.
8. Перов С.П., Хргиан А.Х. Современные проблемы атмосферного озона. Л.: Гидрометеониздат, 1980. 288 с.

9. Савченко В.А., Новицкий М.А. Современный климат Норильска. М.: ИПФ «Гарт», 2003. 168 с.
10. Белан Б.Д., Гришин А.И., Матвиенко Г.Г., Самохвалов И.В. Пространственная изменчивость характеристик атмосферного аэрозоля. Новосибирск: Наука, 1989. 152 с.
11. Обухов А.М. Турбулентность и динамика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 415 с.

*V.G. Arshinova, B.D. Belan, G.A. Ivlev, T.M. Rasskazchikova, D.V. Simonenkov, G.N. Tolmachev, A.V. Fofonov.* **Complex estimate of the air basin state in the Norilsk industrial region. Part 4. Vertical stratification of admixtures.**

Measurements of admixture and air temperature vertical distribution have revealed a presence of a permanent inversion of about 1 km height, which hinders upward distribution of emissions. Climatic data show that the inversion does not degrade from September to April even by day all over the region. Even in summer day, there is a barrier layer at a height of 900–1000 m. Therefore building plant chimneys up to 500 m makes no sense, because in any case the emissions remain below the inversion layer.

Despite high concentrations of ozone, it originates sooner from stratosphere (not photo-chemically). Vegetation near Norilsk accumulates carbon in summer even under strong anthropogenic load. The aerosol field there is of a layered structure with concentration maxima in the ground or boundary layers.