

М.Ю. Аршинов, Б.Д. Белан, Д.К. Давыдов, Г.А. Ивлев, В.А. Пирогов,
Д.В. Симоненков, Г.Н. Толмачев, А.В. Фофонов

Комплексная оценка состояния воздушного бассейна Норильского промышленного района.

Ч. 1. Размеры и динамика колонки примесей

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 23.01.2006 г.

Приводятся результаты исследования распространения примесей в воздушном бассейне Норильского промышленного района (в 2002 и 2004 гг.) с помощью самолета-лаборатории АН-30 «Оптик-Э» и наземного комплекса. Показано, что колонка городских примесей сохраняет свою целостность и в холодный и в теплый периоды. При этом ее первоначальный масштаб остается неизменным. Это, по-видимому, определяется размером города и рельефом местности. Концентрация основного выбрасываемого в городе соединения SO_2 в теплый период достигает 1300 мкг/м^3 , что более чем в 2 раза превышает величину, зафиксированную в холодный период. Температурный перегрев колонки летом ($0,8\text{--}1,0^\circ\text{C}$) меньше, чем зимой. Прослеживая распространения колонки примесей в холодный и теплый периоды по горизонтали выявило, что на удалении 50 км она почти удвоила свою ширину в теплый период. Это свидетельствует о том, что в теплый период рассеивающие свойства атмосферы в данном районе значительно выше, чем зимой.

Введение

В настоящее время на планете нет ни одного материка, включая Антарктиду, где не находилось бы следов человеческой деятельности. Естественно, антропогенное воздействие в каждом районе проявляется по-разному, что можно обнаружить по состоянию окружающей среды на региональном уровне. Объектом нашего исследования является Норильский промышленный район, предприятия которого вносят до 78% всех выбросов Красноярского края, или около 8% валового выброса предприятий РФ [1].

Норильск — крупный промышленный центр Заполярья. Из-за высоких объемов выбросов к концу 80-х гг. атмосфера города характеризовалась следующими параметрами [2]. Разовые концентрации двуокиси серы превышали 40 ПДК, концентрации окиси азота 36 ПДК. Средние за год значения этих же соединений составляли 3–4 ПДК. В 4–6 раз превышались разовые ПДК по хлору, фенолу, сероводороду, окиси углерода, в 15 раз по диоксиду азота.

Основными источниками загрязнения воздуха являются предприятия цветной металлургии. Выбросы двуокиси серы этими предприятиями были самыми высокими в бывшем СССР и достигали 10% от общего объема. В составе выбросов на нее приходилось 96%, на пыль, окись углерода и окислы азота по 1–1,5%.

По данным краевого комитета по охране окружающей среды [1], на Норильском горно-металлургическом предприятии произошло снижение уровня очистки и утилизации диоксида серы с 20% в 1989 г. до 3,5% в 1994 г., что повлекло дополнительное количество выбросов (тыс. т) в атмосферу [3–6]:

Год	Пыль	SO_2	NO_2	СО
1996	24,1	2014,4	13,7	53,1
1997	26,0	2015,0	12,8	32,0
1998	20,1	2065,0	12,8	25,5
1999	20,4	2104,1	12,3	23,6

Поскольку для утилизации сернистого ангидрида отсутствуют экономически оправданные технологии [7], то рассчитывать на улучшение качества воздуха в городе в ближайшее время не приходится.

Усугубляет ситуацию и неудачное расположение предприятий по отношению к жилым кварталам в городе [2]. Предприятия расположены к северу и югу от города. Повторяемость северного и северо-западного направлений ветра составляет 19%, южного и юго-восточного 28%. Таким образом, город попеременно находится под влиянием выбросов то одного, то другого предприятия цветной металлургии.

Считается, что район Норильска характеризуется сравнительно хорошей рассеивающей способностью атмосферы [2], хотя, в работе [8] этот район отнесен к плохо рассеивающим. По-видимому, здесь произошло смешение понятий. Рассеивающие свойства атмосферы действительно плохие. Однако интенсивные ветра, наблюдающиеся на территории [9], способствуют дальнему переносу примесей. Это сказывается на состоянии растительности и почвы на огромном пространстве.

В годовом ходе наиболее неблагоприятные метеорологические условия, способствующие накоплению примесей в атмосфере, создаются в зимнее время [2], когда повторяемость застоев воздуха достигает 9–19%, а туманов 8–17%. При высоком содержании двуокиси серы происходит ее осаждение

на каплях тумана и образуется серная кислота. Возможно образование смоговых ситуаций по типу знаменитого лондонского смога.

Измерения уровня загрязнения воздуха ведутся в Норильске на четырех наземных станциях, расположенных на территории города [3–6]. Естественно, что они не могут представить полную информацию о состоянии воздушного бассейна промышленного центра и воздействии его выбросов на окружающее пространство. Вместе с тем имеются многочисленные доказательства, что эти выбросы распространяются на тысячи километров и могут достигать Канады и Аляски. Как при этом рассеиваются и трансформируются примеси, остается неясным. Все вышеизложенное и послужило основанием для проведения комплексной оценки состояния воздушного бассейна города Норильска.

Исследования закономерностей формирования и трансформации поля загрязнения воздуха в пределах крупных промышленных центров особенно интенсивно проводятся в последние 10–15 лет. Полученные результаты в корне меняют сложившиеся представления в этой области и пока не нашли достаточно полного отражения в существующих учебниках и монографиях. Поэтому кратко остановимся на изложении современных представлений о закономерностях формирования и трансформации полей загрязнения воздуха в зоне крупных промышленных центров.

Вначале напомним суть традиционных представлений. Исторически сложилось так, что любой крупный промышленный центр, по мере своего развития, застраивался в несколько этапов. В любом городе можно выделить историческую часть, по периметру которой в свое время были построены какие-то производственные объекты. Затем, по мере расширения города, жилые кварталы вышли за пределы исторической части и эти производства оказались внутри города. В некоторых городах такой процесс осуществлялся неоднократно. Например, в Томске ГРЭС-2 строилась в свое время на периферии, сейчас же оказалась в центре города. Еще более сложный вариант застройки наблюдается в г. Новосибирске.

Длительное время считалось, что в обычные дни с умеренным ветром город хорошо продувается и повышенный фон загрязнения воздуха наблюдается только вблизи производств или по шлейфу распространения примесей. Для размещения будущих производств использовалась климатическая роза ветров, т.е. новые заводы и фабрики располагаются вне черты города, с подветренной стороны. Предполагалось, что в этом случае они будут оказывать наименее вредное воздействие на население города. И лишь при совпадении двух условий: низкой инверсии и штиля, выброшенные в воздух примеси остаются на его территории. Современные теоретические и экспериментальные данные об особенностях аэрации крупных промышленных городов показывают, что это опасное заблуждение.

Если рассматривать любой город из иллюминатора самолета, даже при наличии сильного и уме-

ренного ветра, то можно убедиться, что действительно выбросы из высоко расположенных источников (труб) распространяются по ветру и уносятся за пределы города. Вместе с тем город все же окутан дымкой, что свидетельствует о накоплении, в первую очередь, аэрозольных примесей в пределах города. Следовательно, прямого выноса загрязнений за пределы города не происходит, а имеется какой-то механизм, благоприятствующий их накоплению.

При этом, наблюдая за городом в течение нескольких дней без осадков, например в условиях антициклона, можно увидеть, что городская дымка за это время изменит свой цвет от белесого до грязно-черного. Это свидетельствует о том, что выбрасываемые на территории города примеси не только не выносятся за его пределы, но еще и трансформируются в ходе химических, фотохимических, конденсационных и коагуляционных процессов. Причем, как показывают данные измерений, в ходе таких процессов образуются более токсичные по своим свойствам вещества, которые отсутствуют в прямых выбросах. Данные самолетного зондирования пространства над городами показывают, что накопление примесей идет не только в приземном слое, но и выше, охватывая в отдельные периоды весь пограничный слой атмосферы.

Из данных многочисленных исследований, выполненных для городских условий, следует, что наиболее эффективным механизмом очищения воздуха от примесей являются фронтальные разделы и связанные с ними осадки. В тылу фронта, как правило, концентрация загрязнений уменьшается почти на порядок и нарушается сложившийся баланс между объемом выбросов, переносом, трансформацией и стоком различных загрязняющих веществ. Этот процесс позволяет вместе с тем оценить скорость, с которой восстанавливается такой баланс.

Таким образом, исходя из традиционных представлений об аэрации промышленного центра, невозможно объяснить наличие «шапки» загрязнений над ним.

Скопление промышленных объектов на ограниченной территории, какой является современный город, привело к тому, что здесь выбрасывается в окружающую среду большое количество всевозможных загрязнений, которых нет в естественных условиях. Это химические вещества в разных состояниях и разной природы, дополнительная тепловая энергия, электромагнитное излучение и т.п. Вследствие этого город становится, как известно, «островом тепла». Необходимо учитывать также, что город, как правило, строится на возвышенном месте, на берегу крупного водоема, что обеспечивает контраст температур суша – водная поверхность.

В результате сложения действия этих факторов в окрестностях города появляется локальная циркуляция. Особенность ее в том, что в тени города возникают потоки воздуха, противоположные направлению основного, который наблюдается с наветренной стороны. Эта циркуляция как бы «запирает» выбросы предприятий в приземном слое воздуха. Над ним возникает дымка примесей, состоя-

щая из газообразных и аэрозольных веществ, получившая название «шапки» загрязнений. Еще одной характерной особенностью циркуляции является то, что она сохраняется над городом и при слабом ветре, и при ветре средней интенсивности, исчезая ненадолго при прохождении атмосферных фронтов, после чего достаточно быстро восстанавливается.

Разработанные В.В. Пененко [10–12] методы и модели, а затем и расчеты, проведенные для конкретных регионов, показали, что город является не только «островом тепла», но и «островом загрязнений» из-за особенностей локальной циркуляции воздуха, возникающей в его окрестностях. Эти данные существенно изменяют современные представления об аэрации городов и позволяют объяснить целый ряд фактов, установленных экспериментально и не поддающихся интерпретации на основании сложившихся представлений. Это, в частности, касается быстрого восстановления (1–2 дня) фотохимического равновесия в воздухе промышленного центра после прохождения через город атмосферного фронта, очищающего его от загрязнений.

Зона локальной циркуляции зависит от масштаба города, количества и мощности предприятий. Выбросы, попадающие в эту зону, накапливаются, но не беспредельно. Поскольку температура воздуха внутри образовавшейся колонки выше, то он начинает подниматься. По данным [13] вначале колонка с примесями имеет вертикальный вид, а затем под действием основного потока начинает наклоняться. Она приобретает горизонтальный вид на значительном удалении от города и распространяется вблизи верхней границы пограничного слоя атмосферы. Высота этого слоя зависит от сезона, и он отделяется от свободной атмосферы задерживающим слоем [14].

Накопленный в ИОА СО РАН опыт по экологическому зондированию воздушного бассейна ряда городов [15] позволяет, с одной стороны, проверять теоретические выводы, а с другой – проводить оценку фактического состояния воздушного бассейна, с помощью самолета-лаборатории Ан-30 «Оптик-Э» [16] и оригинальной методологии [17].

Измерения состава воздуха в Норильском промышленном районе выполнялись в ноябре 2002 г. и в августе 2004 г. Для измерений использовались самолет-лаборатория Ан-30 «Оптик-Э» и небольшой наземный комплекс, который перемещался по территории на автомобиле.

Ранее мы приводили некоторые результаты зондирования атмосферы в Норильском промышленном районе [18]. В данной и последующих статьях дадим более полную характеристику состояния воздушного бассейна региона.

Схема проведения экспериментов

Во введении отмечалось, что в окрестностях города возникает своя особая циркуляция воздуха, которая «запирает» выбрасываемые примеси на его территории. Из-за относительного перегрева загрязненный городской воздух вначале поднимается в виде вертикальной колонки, а затем распространяется

в горизонтальной плоскости по ведущему потоку как объединенный шлейф. По расчетам [10–12], в зависимости от размеров города, мощности и количества предприятий масштаб такой колонки может изменяться от нескольких десятков километров до нескольких сотен метров.

Для определения наличия такой колонки в Норильском промышленном районе полеты выполнялись по схеме «крест», на высотах 600 и 800 м от уровня моря в холодный и теплый периоды года. Из-за сложной орографии г. Норильска высота полета относительно рельефа была переменной, в некоторых местах не превышала 100 м. Направления лучей «креста» выбирались перед полетом по данным авиаметеостанции: перпендикулярно и параллельно направлению ветра. Схема полетов представлена на рис. 1.

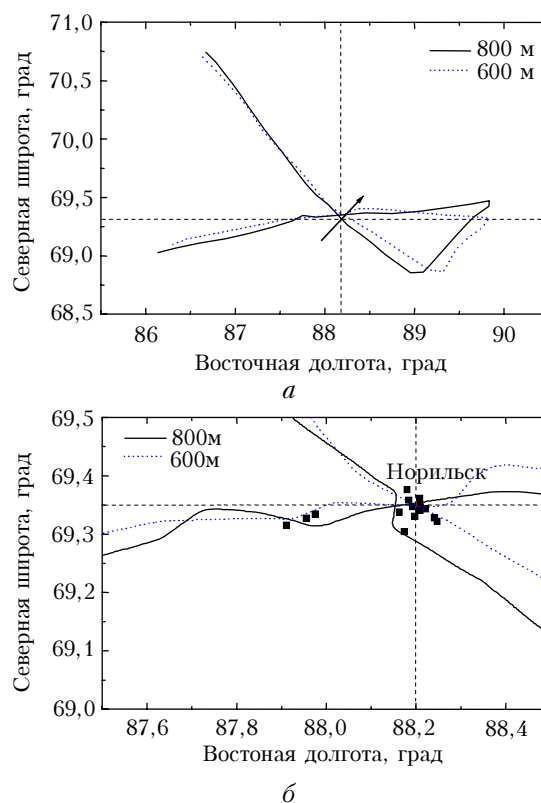


Рис. 1. Схема проведения эксперимента: а – общая; б – в окрестностях

Поскольку воздух внутри колонки теплее, чем в окружающем пространстве, то конденсационные процессы в ней происходят менее интенсивно. Поэтому колонка, как правило, содержит повышенное количество частиц микродисперсной фракции аэрозоля. Грубодисперсные же частицы быстро оседают из шлейфа. В результате колонка не видна. Зафиксировать ее наличие можно только путем измерений.

Результаты измерений

Данные измерений для зимнего периода приведены на рис. 2, из которого видно, что в зависимости

от исследуемого параметра размер городской колонки составляет 20–40 км, с учетом того, что 1° по долготе на широте Норильска составляет 38–39 км.

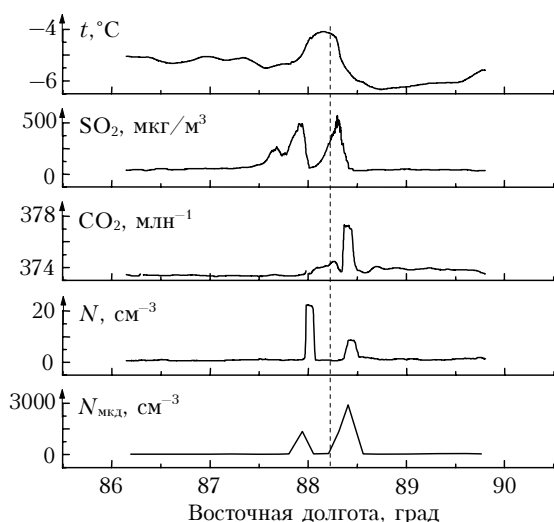


Рис. 2. Распределение температуры воздуха, концентрации сернистого ангидрида, углекислого газа, счетной концентрации аэрозоля ($d \geq 0,4$ мкм) и микродисперсной фракции ($d \leq 0,2$ мкм) на высоте 600 м 5 ноября 2002 г. по маршруту запад–восток

Такой разброс понятен, так как в шлейфе происходят еще переходные процессы. Видно, что воздух внутри колонки теплее окружающего более чем на 1 °C. Причем с удалением от города эта разница достигает 2 °C и более. Если фоновая концентрация SO_2 на высоте 600 м составляла 40–50 мкг/м³, то при пересечении колонки она возросла до 500–550 мкг/м³, т.е. в 10 раз. В распределении сернистого ангидрида можно увидеть три пика. Это, по-видимому, отражение выбросов трех основных предприятий Норильска. Очевидно, что в начальной части городского следа шлейфы от предприятий еще не успели перемешаться. Как это ни странно, в шлейфах не наблюдается заметного увеличения концентрации углекислого газа.

Аэрозольная компонента и в субмикронной, и в микродисперсной фракциях проявилась двумя максимумами. Субмикронная дала увеличение концентрации с 2–3 до 20–25 см⁻³, т.е. в 10 раз, как SO_2 . Микродисперсная фракция, отражающая переход газ–частица, показывает, что в колонке идут интенсивно гетерогенные конденсационные процессы. Концентрация зародышей аэрозольных частиц в шлейфе в 50–100 раз выше, чем вне колонки. Такие частицы неразличимы визуально.

На рис. 3 приводится дисперсный состав субмикронной фракции аэрозоля в двух пиках городской колонки, зафиксированной на высоте 600 м, и вне нее. Эти данные свидетельствуют о размере частиц, которые быстро выводятся из атмосферы [19] и в которых обычно содержатся тяжелые металлы [20]. Рис. 3 показывает, что концентрация частиц в шлейфах на 1–2 порядка выше, чем вне их.

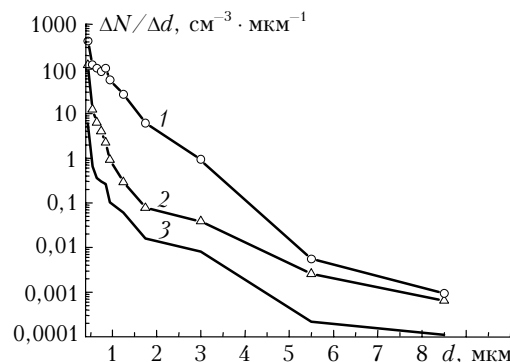


Рис. 3. Дисперсный состав аэрозоля 5 ноября 2002 г. в двух пиках городской колонки (1, 2), вне колонки (3)

Таким образом, по данным зимних измерений можно отметить, что в соответствии с современными представлениями о параметрах городского следа примесей он имеется и в г. Норильске. Характерные размеры следа для периода эксперимента составляют примерно 40 км. По своей структуре колонка примесей неоднородна. В ней можно выделить 2–3 мощных шлейфа по числу основных предприятий г. Норильска.

Наши дальнейшие исследования в 15 городах Сибирского региона выявили в зимний период наличие подобных колонок даже в небольших населенных пунктах [21]. В крупных населенных пунктах (Новосибирск, Красноярск, Томск) она сохраняется и в теплый период года. Поэтому, учитывая мощность норильских промпредприятий, было целесообразно определить, сохраняется ли городская колонка в теплый период. Этому и был посвящен первый полет в августе 2004 г., который также выполнялся по схеме «крест» на высотах 600 и 800 м от уровня моря.

Погоду в день полета определял частный циклон, который образовался в седловине между гребнем антициклона и старым циклоном. Облачность была переменной. Ветер в пограничном слое атмосферы был северо-западным. В свободной атмосфере он изменял направление на западное. Скорость ветра на нижнем эшелоне была 6–7 м/с, выше она снижалась до 3–4 м/с. Интенсивной турбулентности не наблюдалось, хотя на некоторых участках полета самолет покачивало.

Сначала рассмотрим вертикальные разрезы, перпендикулярные направлению ветра. Здесь и далее они начинаются вне города (от р. Енисей), пересекают шлейф лесного пожара (10–50 км), а затем городскую колонку, включая шлейф Норильской горно-металлургической компании.

Обычно городскую колонку идентифицируют по полю температуры. Из рис. 4 следует, что лесной пожар и городские выбросы оказывают воздействие на это поле, температура которого на 0,8–1,0 °C выше, чем в окружающем пространстве. Слой 700–900 м является переходным между пограничным слоем и свободной атмосферой. Из рис. 4 видно, что имеются возмущения и в свободной атмосфере.

Поскольку городская колонка в день эксперимента была прижата к горам, окружающим город,

то полностью ее пересечь не удалось, самолету пришлось отворачивать в сторону. Если же считать ее симметричной, что вполне допустимо исходя из рис. 4, то горизонтальный размер колонки составляет примерно 40 км, т.е. почти как в зимнем эксперименте.

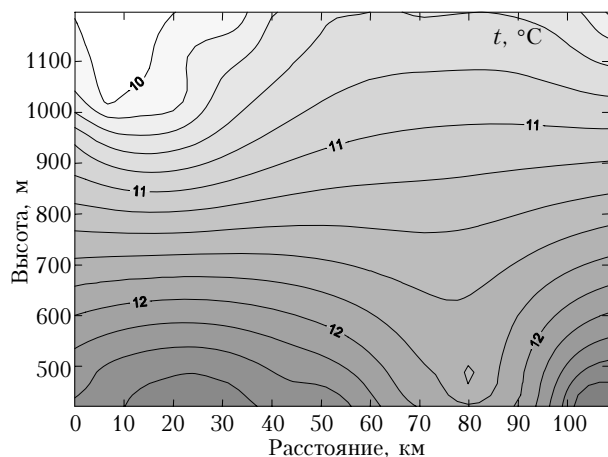


Рис. 4. Распределение температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) по вертикальной плоскости, проходящей через Норильск, перпендикулярно направлению ветра

Как было выявлено в ноябре 2002 г., основными выносимыми компонентами из города являлись сернистый ангидрид и аэрозоль. Данные об их распределении приводятся на рис. 5.

Из рис. 5, *a* видно, что лесной пожар практически не вносит вклада в поле SO_2 над городом. Основным источником являются выбросы предприятий НГМК. При этом концентрация сернистого ангидрида в колонке достигает 900 мкг/м^3 , что почти в 2 раза превышает величины, зафиксированные в зимнем эксперименте.

Данные зимнего периода свидетельствуют о том, что выбросы SO_2 сопровождаются интенсивными переходами газ-частица, в результате которых образуется микродисперсная фракция аэрозоля ($d = 3...200 \text{ нм}$). Рис. 5, *б* демонстрирует, что такие процессы имеют место и в теплый период. Причем их интенсивность значительно выше, чем в холодный.

Если зимой концентрация микродисперсной фракции составляла $200\text{--}400 \text{ см}^{-3}$ [18], то летом $1100\text{--}1600 \text{ см}^{-3}$. Из рис. 5, *б* видно также, что нуклеационные процессы в лесном пожаре чуть ли не в 2 раза выше, чем в промышленном шлейфе. Возможно, здесь срабатывает эффект органики, которой значительно больше в шлейфе лесного пожара. Как показано в лабораторном эксперименте [22], органические газы значительно усиливают нуклеационные процессы.

Субмикронная фракция – наиболее долгоживущая компонента аэрозоля [23], хотя и отражает наличие шлейфов, но не в такой степени, как микродисперсная (рис. 5, *в*). Напомним, что необходим период порядка 5–6 сут, чтобы микродисперсная фракция доросла до субмикронной [24].

Из рис. 5, *в* следует, что по сравнению с фоновым значением концентрация субмикронной фракции возрастает

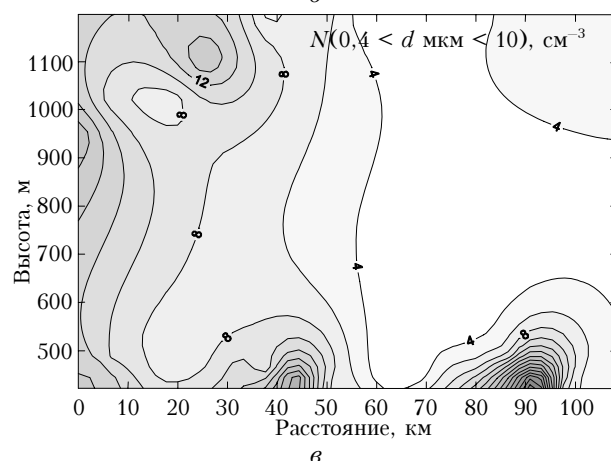
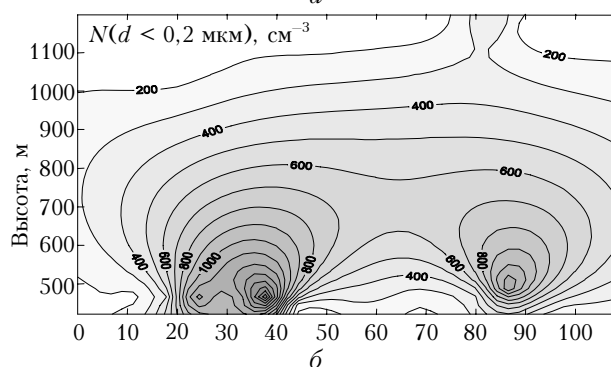
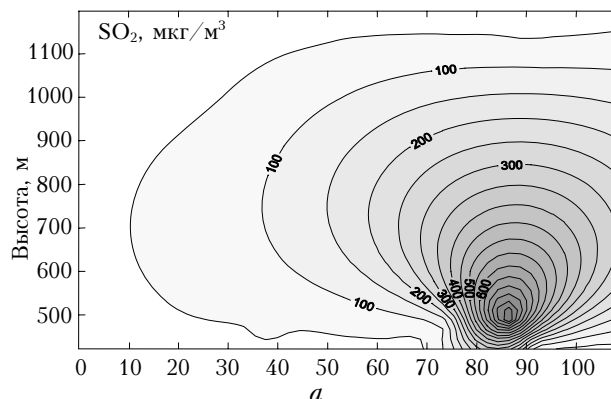


Рис. 5. Распределение сернистого ангидрида (*a*), микродисперсной (*б*) и субмикронной фракции аэрозоля (*в*) по вертикальной плоскости, проходящей через Норильск, перпендикулярно направлению ветра

в шлейфах как лесного пожара, так и промвыбросов в 2–3 раза. В левой части рис. 5, *в* обращают на себя внимание высокие ее значения над районами, в которых не имеется источников примесей. Проверка показала, что это не ошибка эксперимента. Объяснить данную ситуацию пока затруднительно.

В задачи эксперимента входило также зондирование колонки примесей, уходящих от города. Пересечь след восходящего городского шлейфа удалось на расстоянии 50 км от города. Ниже приводятся разрезы в горизонтальной плоскости, построенные по данным, полученным на высоте 1200 м в ходе измерений.

Из рис. 6, *a* видно, что концентрация сернистого ангидрида по мере движения колонки и ее расширения

Заключение

Колонка городских примесей сохраняет свою целостность в холодный и в теплый периоды. При этом ее первоначальный масштаб остается неизменным. Это, по-видимому, определяется размером города и орографией. Концентрация основного выбрасываемого в городе соединения SO_2 в теплый период достигает 1300 мкг/м^3 , что более чем в 2 раза превышает величину, зафиксированную в холодный период. Температурный перегрев колонки летом ($0,8\text{--}1,0 \text{ }^\circ\text{C}$) меньше, чем зимой.

Прослеживание распространения колонки в холодный и теплый периоды по горизонтали выявило, что на удалении 50 км она почти удвоила свою ширину в теплый период. Это свидетельствует о том, что в теплый период рассеивающие свойства атмосферы в данном районе значительно выше, чем зимой.

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.

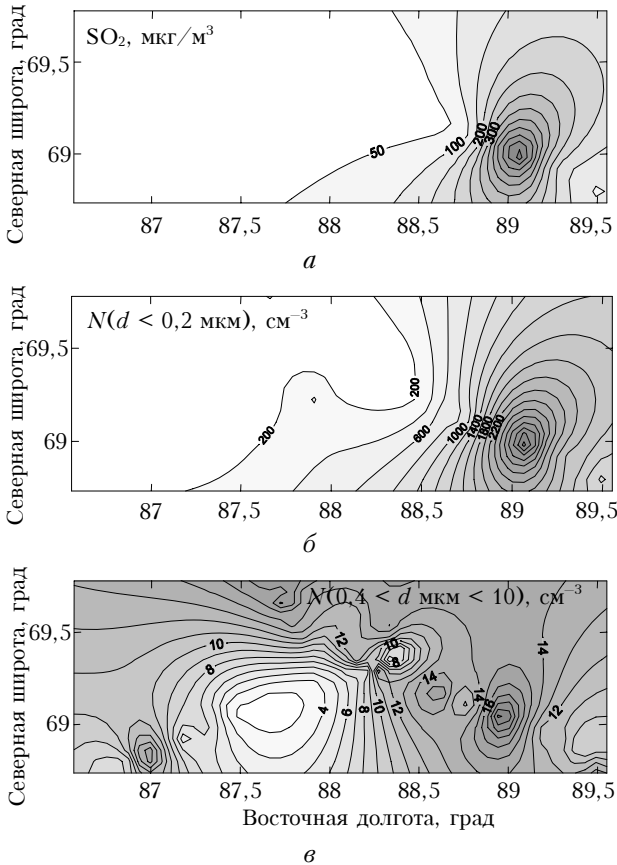


Рис. 6. Горизонтальный разрез распределения сернистого ангидрида (*а*), микродисперсной (*б*) и субмикронной фракций аэрозоля (*в*) на площадке 1200 м

снизилась до 600 мкг/м^3 , т.е. почти в 2 раза. Сама колонка расширилась в плоскости почти до 80 км. Это является первым свидетельством (за оба периода измерений), что в районе Норильска рассеивающие свойства атмосферы могут быть высокими, по крайней мере в горизонтальной плоскости. Из-за сложного рельефа местности вертикальный разрез вдоль маршрута построить не удалось.

Из рис. 6, *б* можно сделать еще один важный вывод, что снижение концентрации SO_2 происходило не только за счет рассеивания, но и за счет перехода газ—частица. Видно, что счетная концентрация нуклеационной моды возросла в шлейфе до 3600 см^{-3} . То, что сток сернистого ангидрида из атмосферы происходит именно через аэрозольный канал, в данном случае очевидно, так как вне шлейфа концентрация частиц этой фракции не превышает 200 см^{-3} .

Вместе с тем невысокие концентрации субмикронной фракции (рис. 6, *в*) свидетельствуют о том, что оседание сульфатов из шлейфа еще не началось. Напомним, что в зимний период этот процесс начался на расстоянии 60 км и завершился на удалении около 100 км. Если это предположение верно, то в летний период ареал воздействия выбросов предприятий на окружающую среду значительно расширяется. Однако для проверки этого предположения необходимо проведение отдельного эксперимента и по специальной методике.

1. Акулов А.И., Бабенко А.И., Герасименко Н.Ф. и др. Состояние окружающей природной среды в Сибири. Новосибирск: СО РАН, 1996. 112 с.
2. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. Л.: Гидрометеониздат, 1991. 256 с.
3. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России в 1997 г. СПб.: Гидрометеониздат, 1999. 218 с.
4. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России в 1998 г. СПб.: Гидрометеониздат, 1999. 131 с.
5. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России в 1999 г. СПб.: Гидрометеониздат, 2000. 240 с.
6. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России в 2000 г. СПб.: Гидрометеониздат, 2001. 182 с.
7. Мазур И.И., Молдаванов О.И. Курс инженерной экологии. М.: Высш. шк., 2001. 510 с.
8. Безуглая Э.Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. Л.: Гидрометеониздат, 1980. 184 с.
9. Справочник по опасным природным явлениям в республиках, краях и областях Российской Федерации / Под ред. К.Ш. Хайруллина. СПб.: Гидрометеониздат, 1997. 588 с.
10. Пененко В.В. Методы численного моделирования атмосферных процессов. Л.: Гидрометеониздат, 1981. 351 с.
11. Пененко В.В., Цветова Е.А. Моделирование процессов переноса примесей в прямых задачах климатоэкологического мониторинга и прогнозирования // Оптика атмосф. и океана. 1999. Т. 12. № 6. С. 482–487.
12. Пененко В.В., Цветова Е.А. Методы и модели для изучения природной среды и оценки экологических рисков // Оптика атмосф. и океана. 2002. Т. 15. № 5–6. С. 412–418.
13. Оке Т.Р. Климаты пограничного слоя. Л.: Гидрометеониздат, 1982. 360 с.
14. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. СПб.: Гидрометеониздат, 2000. 780 с.
15. Белан Б.Д. Самолетное экологическое зондирование атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 1993. Т. 6. № 2. С. 205–222.
16. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Кабанов Д.М., Ковалевский В.К., Лукьянов О.Ю., Мелешкин В.Е., Мику-

- шев М.К., Панченко М.В., Пеннер И.Э., Покровский Е.В., Сакерин С.М., Терпугова С.А., Толмачев Г.Н., Тумаков А.Г., Шаманаев В.С., Щербатов А.И. Самолет-лаборатория Ан-30 «Оптик-Э» для экологических исследований // Оптика атмосф. и океана. 1992. Т. 5. № 10. С. 1012–1021.
17. Белан Б.Д. Самолетные технологии в исследовании городской окружающей среды // Инж. экол. 2005. № 3. С. 3–22.
18. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Пирогов В.А., Рассказчикова Т.М., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н., Фофанов А.В. Экспериментальное исследование трансформации примесей в шлейфах предприятий // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18. № 4. С. 335–343.
19. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. New York: Wiley & Sons, 1998. 1326 p.
20. Петрянов-Соколов И.В., Сутугин А.Г. Аэрозоли. М.: Наука, 1989. 144 с.
21. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Пирогов В.А., Покровский Е.В., Симоненков Д.В., Ужегова Н.В., Фофанов А.В. Сравнительная оценка состава воздуха промышленных городов Сибири в холодный период // Геогр. и природ. ресурсы. 2005. № 1. С. 152–157.
22. Haddrell A.E., Feng X., Nassar R., Bogan M.J., Agnes G.R. Off-line LDI-TOF-MS monitoring of simultaneous inorganic and organic reactions on particle levitated in a laboratory environment // J. Aerosol Sci. 2005. V. 36. N 4. P. 521–533.
23. Ивлев Л.С., Довгалюк Ю.А. Физика атмосферных аэрозольных систем. СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. 258 с.
24. Кабанов М.В., Панченко М.В. Атмосферный аэрозоль. Томск: ТФ СО АН СССР, 1984. 189 с.

M. Yu. Arshinov, B. D. Belan, D. K. Dabydov, G. A. Ivlev, V. A. Pirogov, D. V. Simonenkov, G. N. Tolmachev, A. V. Fofonov. Complex estimate of air basin state of Norilsk industrial region. I. Dimensions and dynamics of the admixture column.

Measurements of air composition in Norilsk industrial region were conducted in November, 2002 and August, 2004 with the use of ОПТИК-Е aircraft laboratory (An-30) and a small ground automobile complex. The results of studies of the admixture propagation in an urban column are presented. It turned out that the urban admixture column conserves its integrity (including the invariable initial scale) independently of the season. This presumably is determined by the town size and orography. Concentration of the principal emitted compound SO₂ in summer reaches 1300 mg/m³, which more than twice exceeds the winter magnitude. The column temperature overheating in summer (0.8–1.0 °C) is lower than in winter. Observations for the column horizontal propagation in the both periods have shown that at a distance of 50 m it almost doubles its width in the warm period. This points to the fact that the atmospheric scattering in this region in summer is much higher than in winter.