

В.Ф. Рапута, А.И. Смирнова, К.П. Куценогий, Б.С. Смоляков, Т.В. Ярославцева

Исследование выноса загрязняющих примесей от Норильского горно-металлургического комбината на север Западной Сибири

*ИВМиМГ СО РАН,
ИХКуГ СО РАН,
ИНХ СО РАН, г. Новосибирск*

Поступила в редакцию 9.02.2000 г.

С помощью данных наблюдений суточной динамики изменения химического состава атмосферных аэрозолей и приземной скорости ветра осени 1998 г. проведен анализ выноса загрязнений от Норильска на север Западной Сибири. Установлены связи наблюдаемых концентраций с первоначальными выбросами комбината доминирующих веществ и химических элементов. Обсуждаются условия прохождения факельной струи города через пункт наблюдения.

Введение

На севере Западной Сибири отсутствуют значительные источники антропогенного загрязнения атмосферного воздуха. Ближайшие крупные источники выбросов загрязняющих примесей удалены на сотни и даже тысячи километров. К ним следует отнести источники Южного и Среднего Урала, Кольского полуострова, Норильска, юга Западной Сибири.

Систематические длительные наблюдения химического состава атмосферных аэрозолей в ряде населенных пунктов севера Западной Сибири (пп. Тарко-Сале, Самбург, Красноселькуп) создают уникальные возможности раздельного изучения вышеуказанных источников в процессах региональной загрязнения исследуемых территорий [1]. В связи с этим особый интерес представляют ситуации, связанные с продолжительными ветрами определенных направлений. При таком подходе совместный анализ данных наблюдений суточной динамики изменения химического состава атмосферных аэрозолей и ветрового режима позволяет в ряде случаев идентифицировать источник выброса примесей, установить специфический состав аэрозолей, характерные трассерные вещества и химические элементы.

С этих позиций в статье рассматриваются атмосферные аэрозоли, поступающие из района Норильска. Основными источниками загрязнения атмосферы города и его окрестностей являются предприятия цветной металлургии [2]. Выбросы сернистого газа этими предприятиями составляют более 2 млн.т/год. В составе выбросов на двуокись серы приходится 96%, на пыль, окись углерода и окислы азота – по 1 – 1,5%.

Определенную негативную экологическую ситуацию создают и выбросы вместе с серой токсичных соединений мышьяка, селена и сурьмы, также разносимые на значительные расстояния. Из тяжелых металлов приоритетными являются медь, никель, кобальт, цинк, свинец [3]. Следует отметить, что выбросы двуокиси серы осуществляются предприятиями на больших высотах и при сильных ветрах разносятся на значительные расстояния.

Атмосферный перенос и химический состав аэрозолей

Наличие длительных непрерывных по времени рядов наблюдений как по составу атмосферного аэрозоля, так и по направлению и скорости ветра на различных высотах позволяет на основе их сопоставления выявить качественные и количественные связи с источниками выбросов. Учитывая взаимное положение Норильского комбината и пунктов наблюдения (пп. Самбург и Тарко-Сале), наибольший интерес представляют периоды наблюдений, отвечающие устойчивым направлениям ветра северо-восточного сектора. В этом случае, учитывая расстояние между источником и приемниками, можно оценить динамику поступления аэрозольных примесей.

Следует отметить, что при сравнительно небольших временах переноса (порядка нескольких суток) основная масса выбросов комбината будет находиться в пределах пограничного слоя атмосферы и относительно равномерно распределена в нем по вертикали [4]. В этом случае концентрацию примеси при разумном задании входных параметров можно рассчитать с помощью следующего уравнения [5]:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} = K \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} - \sigma S + F(x, y, t), \quad (1)$$

где S – концентрация примеси, осредненная по толщине пограничного слоя атмосферы; U – скорость ветра вдоль оси x ; K – коэффициент турбулентной диффузии в поперечном к ветру направлении; σ – коэффициент, учитывающий «сухое» выпадение примеси на поверхность земли; $F(x, y, t)$ – функция, описывающая положение и режим функционирования источников выброса примеси.

Уравнение (1) пригодно для описания основных процессов переноса и трансформации примеси в региональном масштабе и с его помощью удобно проводить сценарные расчеты. Численное моделирование процессов загрязнения атмосферы различными примесями в текущих условиях вызывает значительные затруднения и требует определен-

ной настройки уравнения (1) на данные наблюдений с использованием соответствующих постановок обратных задач.

В настоящей работе делается попытка продвижения в этом направлении. Проводится совместный анализ данных ежесуточных измерений химического состава атмосферных аэрозолей и направления ветра. Для этой цели используется проведенная в Самбурге осенняя серия наблюдений 1998 г., в которой присутствуют в достаточной степени ветры северо-восточного сектора. На рис. 1 показана посуточная динамика изменения содержания веществ, характерных для выбросов Норильского комбината. В их число включены SO_4^{2-} , Cu, Ni, Se, Pb [1, 3].

Направление и скорость ветра, которые измерялись на метеостанции п. Тарко-Сале, представлены на уровне флюгера. Конечно, правильнее было бы использовать данные аэрологического зондирования в пограничном слое атмосферы, но с осени 1998 г. эти наблюдения на станции прекращены из-за недостатка финансирования. Для получения представления о направлении ветра на высотах порядка 500 или 1000 м необходимо внести поправку путем поворота представленных на рис. 1 векторов скорости на $20\text{--}40^\circ$ по часовой стрелке.

Из рис. 1 видно, что достаточно длительные ветры северо-восточного сектора наблюдались с 18 по 22 сентября и с 27 октября по 4 ноября 1998 г. В эти периоды происходили согласованные между собой скачки концентраций рассматриваемых веществ до относительно высоких значений, что однозначно указывает на источник их происхождения.

Скачкообразное изменение концентраций указывает также на сравнительно ограниченную ширину факела примеси, переносимого от Норильска, и бокового пересечения факелом точки наблюдения [5]. Следует отметить, что в эти периоды наблюдения концентрация нитратов резко снижается и по отношению к сульфатам может достигать в $100\text{--}200$ раз меньших значений. Такое же соотношение имеет место между первоначальными выбросами сернистого газа и окислами азота [2, 3].

Наблюдаемые с 9 по 13 октября относительно высокие концентрации меди, никеля, селена, свинца, сульфатов и соответственно низкие концентрации нитратов указывают на связь с выбросами Норильска. Короткими эпизодами аэрозольного выноса загрязняющих веществ от Норильска являются 19 и 26 октября.

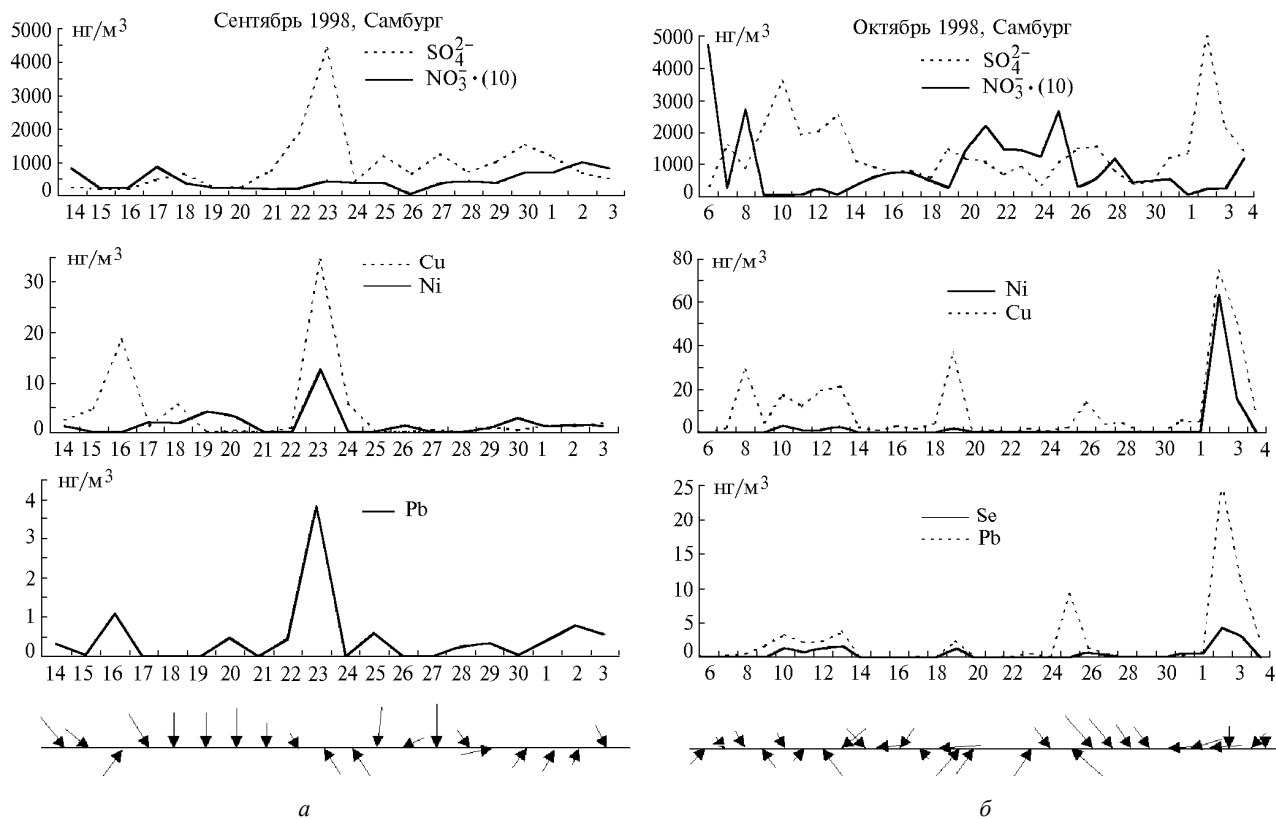


Рис. 1. Суточная динамика изменения концентраций SO_4^{2-} , NO_3 , Cu, Ni, Se, Pb и направления ветра за период наблюдения с 14 сентября по 3 октября (а) и с 6 октября по 4 ноября (б) 1998 г.

Следует отметить, что представленная на рис. 1 информация о приземных скоростях ветра носит отрывочный характер, не позволяет составить полное представление о направлениях среднего переноса аэрозольной примеси в слое перемешивания и ее полезно привлекать на предварительном этапе исследования. Дальнейшее расширение возможности анализа появляется при использовании карт пространственного распределения полей ветра за определенные временные

периоды наблюдений над рассматриваемой территорией. Иллюстрация таких возможностей показана на рис. 2, а и б. На них представлены поля скоростей ветра, взятые из базы данных Reanalysis (NCEP/NCAR – Национальные центры прогноза окружающей среды, Национальный центр атмосферных исследований, США).

В этот период времени в пункте наблюдения (Самбург) был зафиксирован значительный рост концентрации веществ

– SO_4^{2-} , Cu, Ni, Pb, Se и др., характерных для выбросов Норильска. Из рис. 2, *а* следует, что на 1 ноября 1998 г. над территорией, пролегающей между Самбургом и Норильском, ветер имел северо-западное направление, что исключало непосредственное поступление выбросов Норильского комбината в пункты измерения. Согласно рис.2, *б* на 2 ноября 1998 г. картина поля ветра в этом районе стала наиболее бла-

гоприятной с точки зрения переноса загрязняющих веществ и согласуется с зафиксированным высоким уровнем концентраций специфических атмосферных примесей. Для проведения более углубленного анализа условий прохождения факела города целесообразно дополнительное привлечение данных о температуре, давлении и других метеорологических характеристиках.

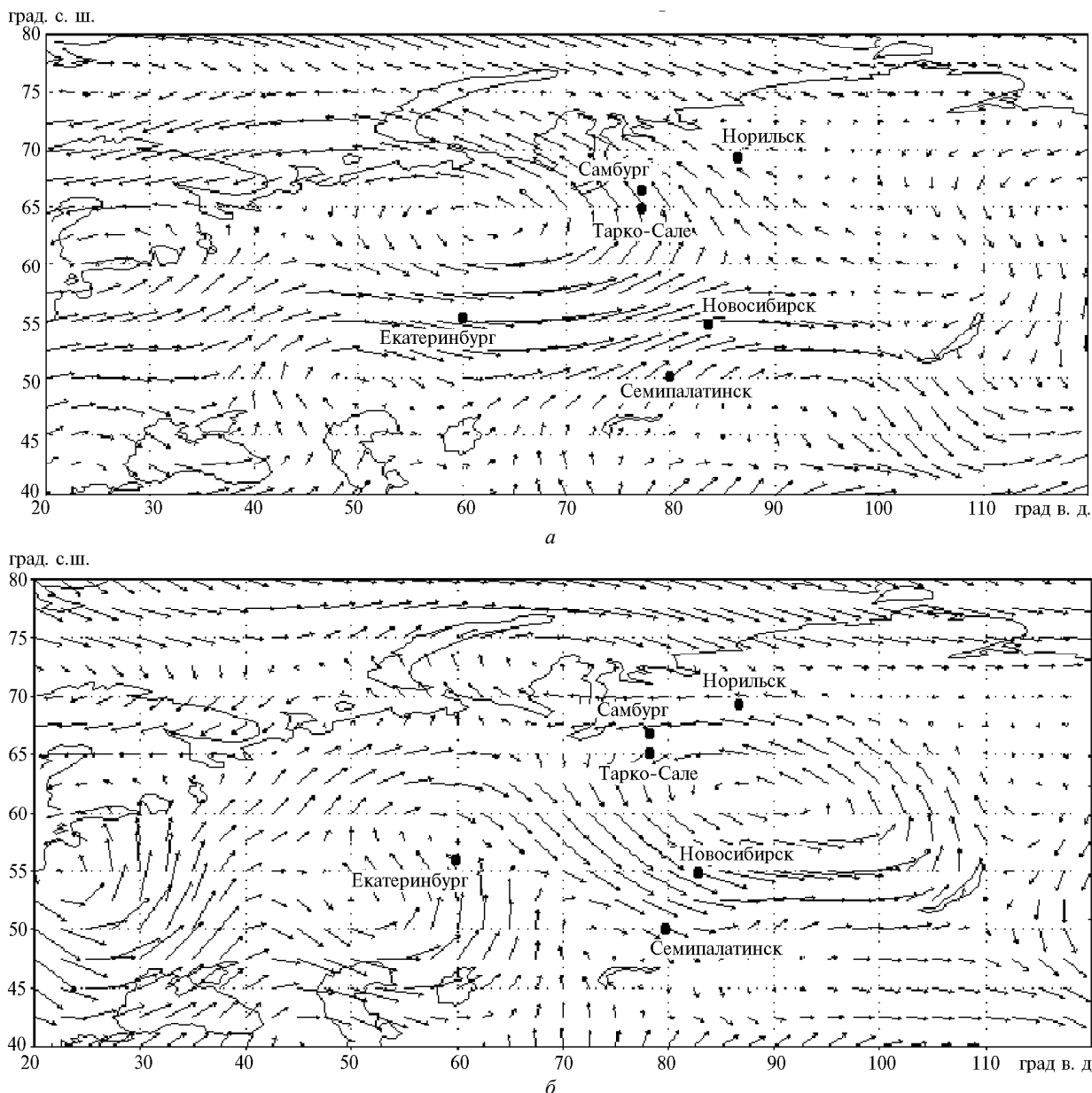


Рис. 2. Поле скорости ветра на уровне 850 мбар 1 ноября (*а*) и 2 ноября (*б*) 1998 г. в 00 ч

Заключение

Совместный анализ полей приземного ветра и данных химического состава атмосферных аэрозолей позволил выявить ряд эпизодов выноса выбросов Норильского комбината на север Западной Сибири, установить связи наблюдаемых концентраций с первоначальными выбросами доминирующих веществ и элементов.

Наличие ветров северо-восточного сектора не всегда гарантирует прямой перенос выбросов Норильска к пунктам наблюдений, что связано с недостаточной шириной городского факела примеси. Чаше это происходит путем бокового сноса факельной струи города. Привлечение более полной метеорологической информации, теоретических представлений об основных физико-химических механизмах переноса примеси, структуре источника и данных наблюдений химического состава

атмосферного аэрозоля дает возможность построения на основе постановок обратных задач количественных моделей регионального загрязнения территорий севера Западной Сибири.

1. Куценогий К.П., Ковальская Г.А., Смирнова А.И. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11. № 6. С. 625–631.
2. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 256 с.

3. *Экогеохимия городских ландшафтов* / Под ред. Н.С. Касимова. М.: Изд-во МГУ, 1995. 336 с.

4. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 279 с.

5. Белов П.Н. Оценка загрязнения воздуха под влиянием Норильского горно-металлургического комбината на основе математической модели переноса примесей // Вестн. Моск. ун-та. 1993. Серия 5. № 4. С. 17–20.

V.F. Raputa, A.I. Smirnova, K.P. Koutsenogii, B.S. Smolyakov, T.V. Jaroslavtseva. Study of the contaminants transfer from Norilsk mining-metallurgic plant to the north of Western Siberia.

The transfer of contaminants from Norilsk to the north of Western Siberia has been analyzed on the basis of observations of a daily dynamics of a change in the chemical composition of atmospheric aerosols. Connections have been established between the recorded concentrations and the initial exhausts of dominating substances and chemical elements. Conditions for the passage of a torch stream (jet) through the observation station are discussed.