

# Исследование процессов формирования уровней загрязнения приземной атмосферы Красноярска

МИХАЙЛЮТА С.В.

*Сибирский государственный технологический университет*

ТАСЕЙКО О.В

*Центр по мониторингу окружающей среды ГУ «Красноярский ЦГМС-Р»*

8 января 2004 г.

For description of air pollution processes (modes of surface air contamination from various sources) it is necessary to investigate features of air pollution distribution on territory of city. In work results the natural researches of space-time changes of five pollutant concentration ( $CO$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  and  $O_3$ ) in atmosphere of Krasnoyarsk are presented. For observation was used a mobile gas-analyses complex of Thermo Environmental Instruments Inc. US. The analysis of meteorological processes during the experiment was carried out on the data of the atmospheric sounding. The analysis of adverse meteorological effects is executed.

## 1. Введение

В условиях высоко индустриализованного региона загрязнение среды обитания является одним из доминирующих факторов, определяющих здоровье городского населения. Европейский опыт оценки риска и эколого-эпидемиологические исследования показывают, что существующая система мониторинга загрязнения атмосферного воздуха располагает данными, которые, как правило, недостаточны для оценки доз токсических веществ, получаемых населением и, особенно, отдельными группами населения (старики, дети, люди с заболеванием дыхательных путей) [1]. Для повышения надежности результатов оценки риска необходимо, прежде всего, совершенствование как способов мониторинга окружающей среды, так и методов обработки получаемой информации. Оценка вредного воздействия (экспозиции) может осуществляться на основе моделирования загрязнения окружающей среды. Однако, учитывая ориентировочный характер модельных прогнозов, использование фактических концентраций загрязнителей в воздухе представляется более надежным.

В данной работе представлены результаты натурных исследований пространственно-временной динамики пяти загрязнителей ( $CO$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  и  $O_3$ ) в приземном слое атмосферы на территории Красноярска. При анализе пространственно-временной динамики распределения загрязнителей в приземном слое воздуха основное внимание было уделено «жилым», «административным» районам города и местам расположения архитектурно-исторических памятников.

Наблюдения проводились с марта 2001 года в стационарном и экспедиционном режимах в зимний (в ноябре-декабре 2002 г.) и в весенне-летний (с апреля по июль 2003 г.)

период.

## 2. Объект и методы исследования

Для проведения наблюдений использовался передвижной газоаналитический комплекс на автомобиле Ford E350 с автономным электроснабжением и метеостанцией. Комплекс оснащен автоматическими непрерывными анализаторами оксида углерода  $CO$ , оксида  $NO$  и диоксида азота  $NO_2$ , анализатором озона  $O_3$  и диоксида серы  $SO_2$  фирмы Thermo Environmental Instruments Inc. США. Первичные данные представляют собой одноминутные средние значения концентраций указанных параметров.

Для измерений концентраций загрязнителей в приземном слое атмосферы на территории Красноярска и за пределами города было выбрано 80 пунктов, в которых выполнялись круглосуточные измерения, измерения в течение дня и в ночное время (рис. 1).

Пункты наблюдения были равномерно распределены по рельефным террасам города и располагались на перекрестках основных автомагистралей, внутри микрорайонов и в промышленных зонах.

Измерения выполнялись непрерывно и в процессе перемещения измерительного комплекса по автомагистралям. Время движения по выбранным автомагистралям в «час пик» и ночью составляло не менее 20 минут со средней скоростью около 30 км/ч.

В течение эксперимента в зимний период синоптическая обстановка характеризовалась частым повторением неблагоприятных метеорологических условий (НМУ), способствующих накоплению загрязняющих примесей в атмосфере (инверсия, штиль).

## 3. Результаты и обсуждение

За период двух экспедиций выполнено 104858 одноминутных измерений. Рассмотрим усредненные значения концентраций загрязнителей и число превышений уровня, соответствующего максимальным разовым ПДК (ПДК<sub>м.р.</sub>), по отношению к числу выполненных измерений для зимнего и летнего периода (табл.1).

Таблица 1. Средняя концентрация загрязнителей в г. Красноярске в зимний и летний периоды

№	Компонент	Среднее значение, мкг/м <sup>3</sup>		ПДК <sub>м.р.</sub> , мкг/м <sup>3</sup>	Максимальная концентрация		*Доля превышений, %	
		зима	лето		зима	лето	зима	лето
1	$CO$	3290	1791	5000	5.20	6.04	23.3	10.6
2	$NO$	320	172	400	6.00	3.24	28.9	15.1
3	$NO_2$	111	87	85	13.0	9.16	46.4	52.3
4	$O_3$	16	36	160	6.00	12.0	0.50	1.20
5	$SO_2$	23	12	500	0.25	0.75	0.00	0.00

Из табл. 1 видно, что в зимнее время значения регистрируемых концентраций загрязнителей и доля превышений ПДК<sub>м.р.</sub> выше, чем в летний период. Исключения составляют диоксид азота и озон. Доля превышений для диоксида азота в зимний и летний период

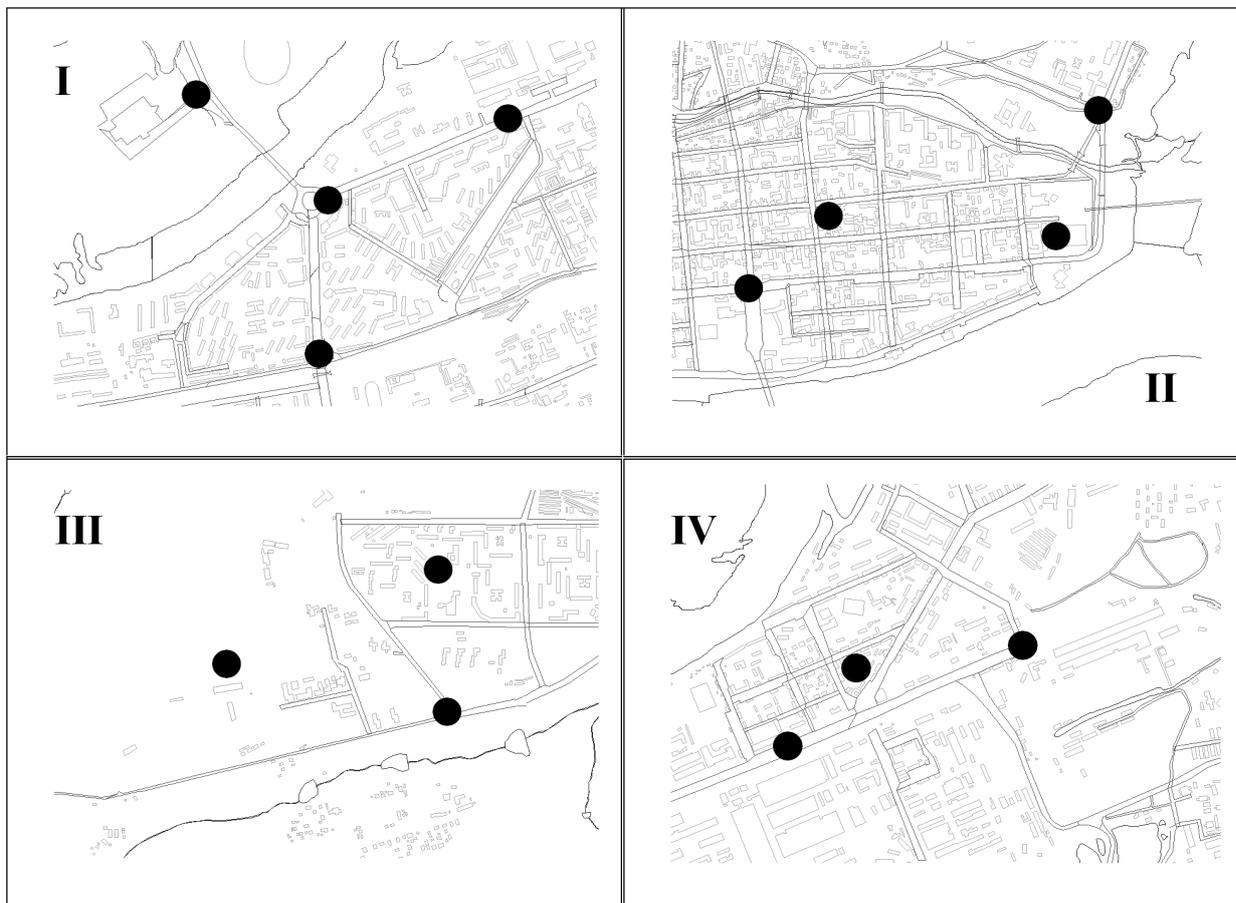
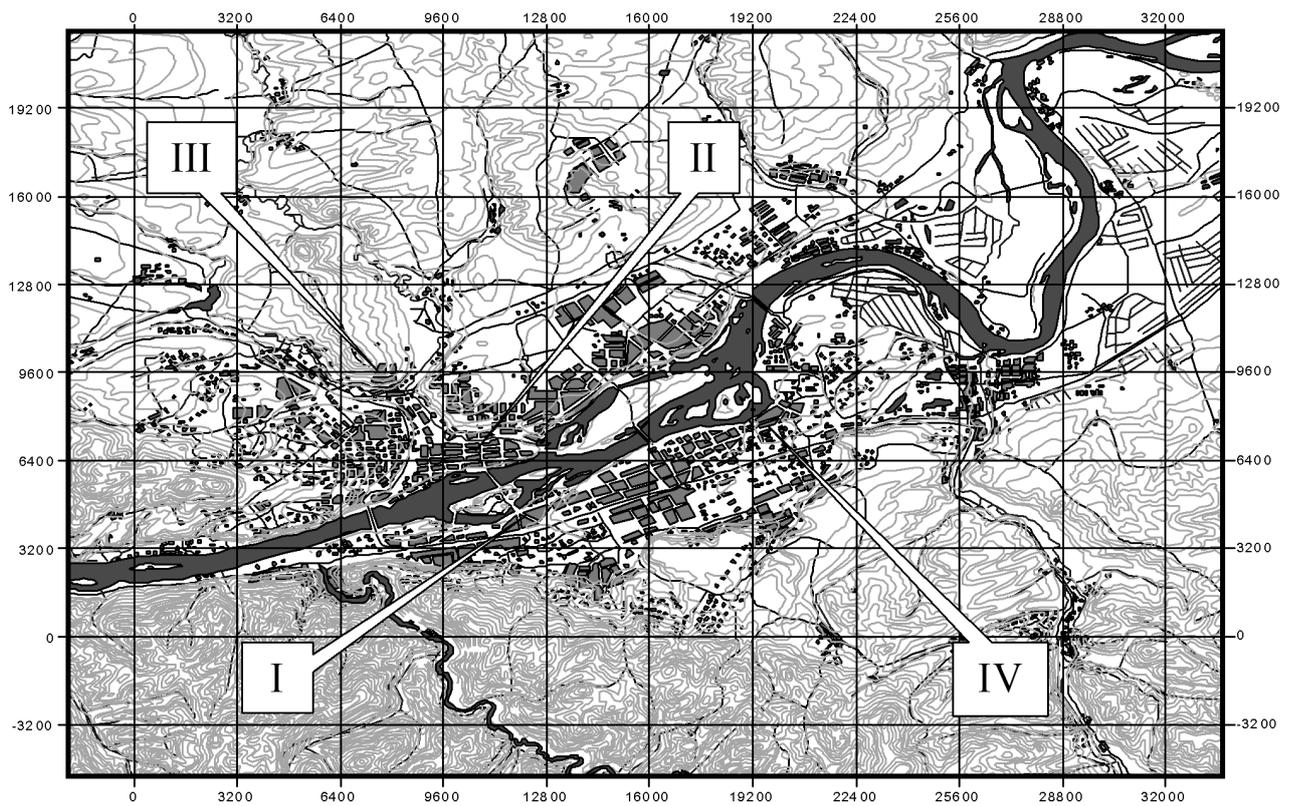


Рис. 1. Рельефная структура и пункты наблюдения на территории Красноярска

сохраняется на уровне 50% (половина от числа выполненных измерений), а средний уровень содержания озона в летний период более чем в два раза выше зимнего. Превышения ПДК<sub>м.р.</sub> для диоксида серы не наблюдались.

Суточный ход концентраций загрязнителей измерялся на нижней террасе (на уровне между 120 и 140 м.н.у.м) в центральной части города во дворе жилого массива (рис. 2).

Как можно видеть из рис. 2, в дневное время (с 7 до 23 ч.) в течение первой половины дня происходит постепенное увеличение концентраций  $CO$ ,  $NO$  и  $NO_2$ , которое достигает максимума к 17 ч. и затем спадает к минимуму. Наиболее глубокий минимум отмечался около 4 ч. утра.

Анализ суточного хода концентраций  $O_3$  показывает, что минимум содержания озона в приземном слое атмосферы совпадает с максимумом концентраций  $NO$  и  $NO_2$ , а в ночное время (с 23 до 7 ч.), когда концентрации окислов азота минимальны, уровень содержания озона достигает максимума.

Временная динамика окислов азота и  $O_3$  указывает на то, что в атмосфере города интенсивно протекают фотохимические процессы. При этом суточный ход диоксида азота  $NO_2$  во многом определяется динамикой  $NO$  и уровнем содержания озона в воздухе. Таким образом, в течение дня концентрация озона невелика, а ночью возрастает в 2–3 раза. Это обусловлено его оседанием из вышележащих слоев воздуха в приземный слой атмосферы, когда уровни содержания в нем окислов азота ввиду отсутствия на дорогах автотранспорта минимальны, что вполне соответствует имеющимся представлениям о протекании фотохимических процессов в загрязненной атмосфере [2].

В суточной динамике концентраций диоксида серы сложно отметить какие-либо регулярные закономерности. Уменьшение концентрации  $SO_2$  в ночное время может быть связано со снижением интенсивности турбулентного перемешивания. Такое поведение концентраций диоксида серы в атмосфере города определяется, вероятно, совокупным действием стационарных источников, к числу которых относятся тепловые электростанции, коммунальные котельные и промышленные предприятия.

Известно, что основным антропогенным источником поступления в атмосферу окислов азота и  $CO$  является автомобильный транспорт [1, 3]. Анализ пространственно-временной динамики распределения загрязнителей в приземном слое атмосферы на территории Красноярска полностью подтверждает этот факт. Но удобнее рассматривать не отдельно взятые автомобили (автотранспорт), а автомагистрали, поскольку динамика концентраций окислов азота и  $CO$  в приземном слое атмосферы напрямую связана с изменениями плотности транспортных потоков в течение суток на улицах в различных частях города.

Такие источники «начинают работать» с 7 ч. и «заканчивают» к 23-м. Для того, чтобы охарактеризовать их «работу», сопоставим результаты измерений, полученные в процессе движения газоаналитического комплекса по крупнейшим автомагистралям города днем в «час пик» и ночью, и сравним их с суточной динамикой загрязнителей во дворе жилого массива (табл.2).

Рассмотренные нами автомагистрали находятся как на левом, так и правом берегах Енисея, на которых расположен город, и пересекают жилые, административные и промышленные зоны Красноярска (Советский р-н, Центральный, Железнодорожный, Октябрьский, Ленинский и Кировский).

Таким образом можно видеть, что в любом районе города автомагистрали являются «эпицентрами» загрязнения атмосферы окислами азота и  $CO$ .

При построении систем оперативного мониторинга имеет значение вопрос минимизации набора измеряемых величин. Подходом к его решению является определение корреля-

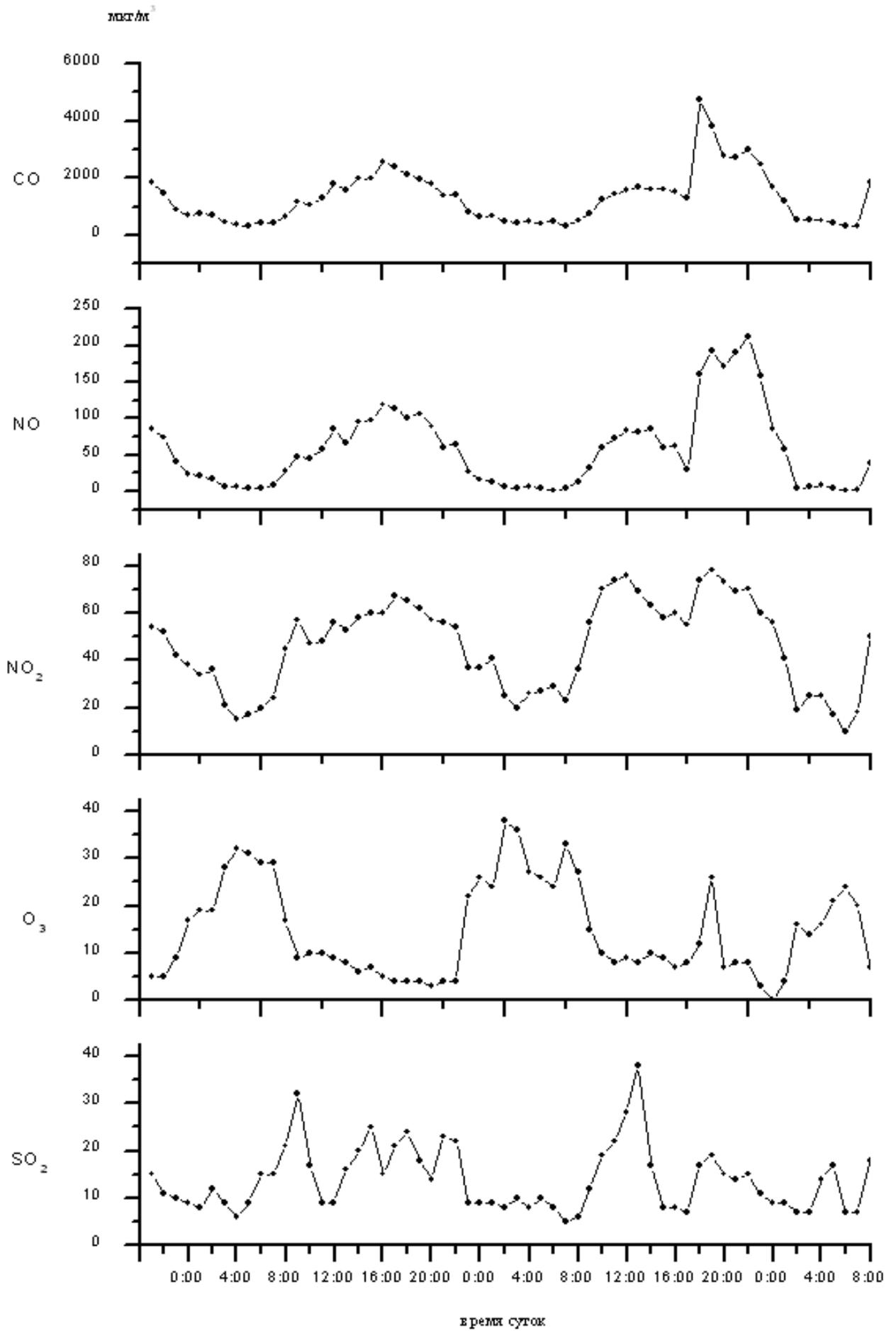


Рис. 2. Суточная динамика загрязнителей

Таблица 2. Диапазон изменения концентраций (мкг/м<sup>3</sup>) загрязнителей (днем/в ночное время) на крупнейших автомагистралях Красноярска и во дворе жилого массива

Компонент	Автомагистраль	Характеристики концентраций		
		$C_{cp.}$	$C_{min}$	$C_{max}$
$CO$	пр.Красноярский раб-й.	9937 / 315	3763 / 235	23170 / 941
	пр. Metallургов	6014 / 336	1411 / 235	15170 / 588
	ул. 60 лет Октября	3751 / 353	2352 / 235	7644 / 470
	ул. Брянская	4180 / 403	1882 / 235	9878 / 470
	пр. Свободный	4580 / 321	353 / 235	8585 / 706
	двор жилого массива	3130 / 499	2117 / 235	5998 / 1058
$NO$	пр. Красноярский раб-й.	799 / 17	277 / 1	1491 / 67
	пр. Metallургов	705 / 16	126 / 3	1619 / 39
	ул. 60 лет Октября	355 / 8	157 / 1	813 / 32
	ул. Брянская	453 / 13	93 / 3	1149 / 42
	пр. Свободный	606 / 21	17 / 1	1114 / 161
	двор жилого массива	211 / 7	137 / 1	336 / 24
$NO_2$	пр. Красноярский раб-й.	134 / 23	22 / 1	438 / 152
	пр. Metallургов	134 / 18	30 / 1	351 / 49
	ул. 60 лет Октября	79 / 14	10 / 1	173 / 59
	ул. Брянская	156 / 19	16 / 1	456 / 105
	пр. Свободный	158 / 16	16 / 1	592 / 131
	двор жилого массива	92 / 28	25 / 14	195 / 53
$O_3$	пр. Красноярский раб-й.	21 / 43	9 / 22	49 / 48
	пр. Metallургов	17 / 38	2 / 34	43 / 42
	ул. 60 лет Октября	12 / 44	7 / 40	19 / 47
	ул. Брянская	20 / 42	9 / 36	33 / 44
	пр. Свободный	16 / 48	6 / 40	45 / 52
	двор жилого массива	6 / 29	4 / 14	11 / 42
$SO_2$	пр. Красноярский раб-й.	29 / 18	19 / 10	70 / 67
	пр. Metallургов	25 / 28	14 / 16	36 / 33
	ул. 60 лет Октября	21 / 25	14 / 16	36 / 40
	ул. Брянская	30 / 18	19 / 16	49 / 21
	пр. Свободный	39 / 11	7 / 7	76 / 17
	двор жилого массива	17 / 8	14 / 4	27 / 13

ционных связей между загрязнителями. Кроме того, по синхронности изменения разных составляющих загрязнения воздуха можно проследить причину их появления, т.е. источник выбросов.

Рассчитанные коэффициенты корреляции между загрязнителями, регистрируемыми в дневное время и ночью представлены в табл.3.

Таблица 3. Взаимосвязь загрязнителей воздуха в г. Красноярске

Компонент	Дневные измерения				Измерения выполнены в ночное время			
	<i>NO</i>	<i>NO<sub>2</sub></i>	<i>SO<sub>2</sub></i>	<i>O<sub>3</sub></i>	<i>NO</i>	<i>NO<sub>2</sub></i>	<i>SO<sub>2</sub></i>	<i>O<sub>3</sub></i>
<i>CO</i>	0.86*	0.53*	-0.03	0.08	0.88*	0.75*	0.37*	0.43*
<i>NO</i>		0.63*	-0.03	0.07		0.80*	0.37*	0.48*
<i>NO<sub>2</sub></i>			0.00	0.05			0.55*	0.66*
<i>SO<sub>2</sub></i>				-0.02				0.36*

\* — коэффициенты корреляции значимы на уровне 0.05

Можно видеть, что существует сильная положительная связь между изменениями окислов азота и *CO*, что подтверждает факт их общего происхождения, главным образом, за счет автотранспорта.

В ночное время проявляется сильная, статистически значимая отрицательная корреляционная связь концентраций диоксида азота и озона, а в дневное время эта связь не проявляется. Такое поведение может быть связано с интенсивной деструкцией озона в заполненной окислами азота атмосфере днем, и снижением интенсивности деструкции ночью.

Для каждого пункта наблюдения в зависимости от метеорологической ситуации характерен свой средний уровень содержания загрязнителей в течение дня, который изменяется, главным образом, под воздействием метеорологических факторов.

Так, пункт наблюдения «Площадь Революции» (у здания администрации Красноярского края) характеризуется средним уровнем содержания *CO* в интервале от 300 до 2000 мкг/м<sup>3</sup>, в то же время у здания городской администрации (ул. Вейнбаума) этот интервал составляет от 1500 до 6000 мкг/м<sup>3</sup> (рис. 3). Такое различие связано с особенностью перераспределения транспортных потоков.

Как можно видеть из рис. 3, средний уровень содержания *CO* в этих пунктах не изменяется в течение всего рассмотренного интервала времени. Исключение составляет 19.11.2002 г., когда под влиянием НМУ уровни содержания загрязнителей в атмосфере города значительно возросли.

Для оценки влияния НМУ на концентрации загрязнителей в воздухе сравним усредненные значения концентраций при НМУ и в отсутствие таковых («чистый день») по всем пунктам наблюдения, расположенным в различных частях (районах) города (рис. 4).

Как видно из рис. 4, влияние НМУ может приводить к восьмикратному изменению концентраций загрязнителей в приземном слое атмосферы. Такие изменения происходят по всей территории города. При этом концентрации *CO*, окислов азота и *SO<sub>2</sub>* увеличиваются, а концентрации озона в приземном слое воздуха уменьшаются.

Анализ общего распределения оксида углерода и окислов азота по территории города показывает (рис. 5), что максимальные концентрации этих загрязнителей наблюдаются в центральной части Красноярска и уменьшаются к окраинам (табл. 4).

Это обусловлено, с одной стороны, особенностью расположения центра (нижняя терраса города), а с другой стороны тем, что плотность транспортных потоков здесь выше,

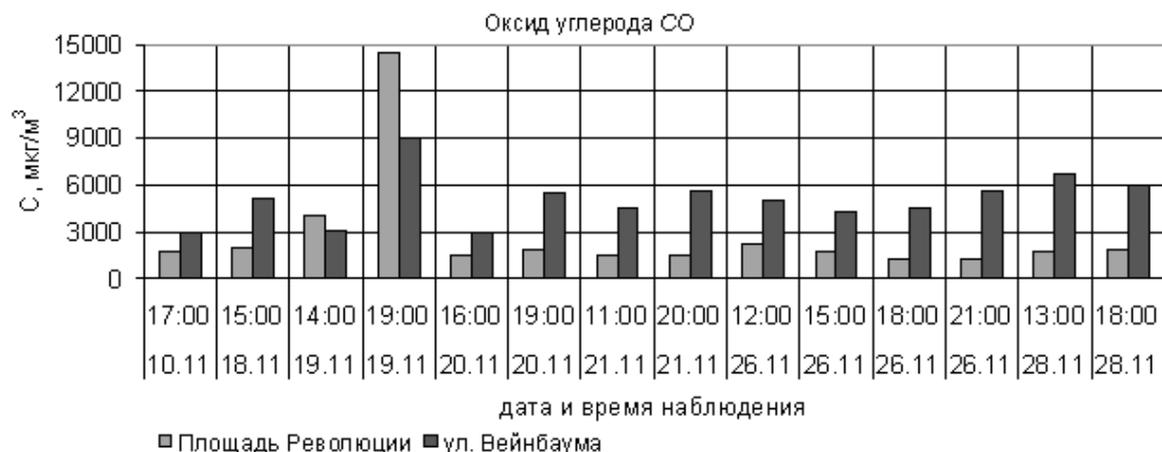
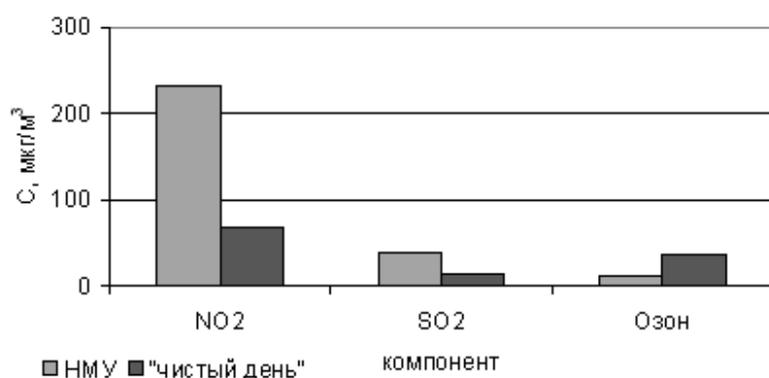
Рис. 3. Изменение среднего уровня концентраций  $CO$  при смене места наблюдения

Рис. 4. Влияние НМУ на средний уровень содержания загрязнителей в атмосфере города

Таблица 4. Пространственная динамика загрязнителей на территории Красноярска

№	Компонент	Усредненные значения концентраций, мкг/м <sup>3</sup>		
		в центральной части города	в промышленной зоне	за городом
1	$CO$	3031	1949	564
2	$NO$	261	214	28
3	$NO_2$	108	99	23
4	$O_3$	15	23	32
5	$SO_2$	23	29	13

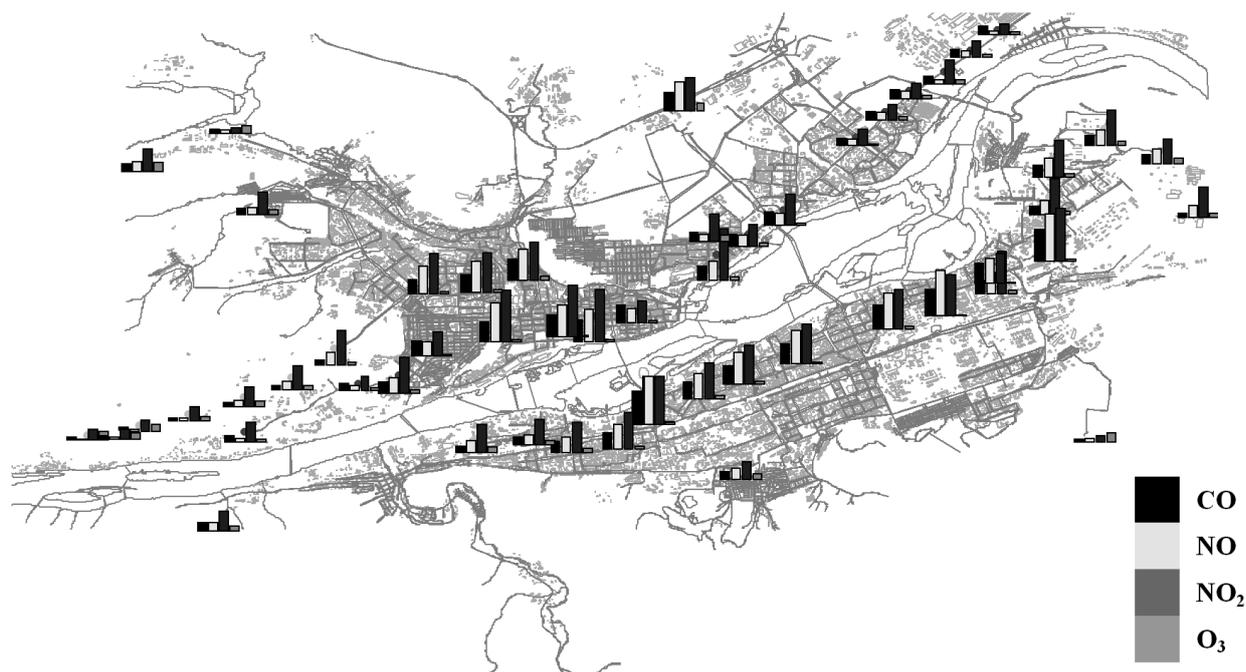


Рис. 5. Пространственная динамика распределения загрязнителей по территории Красноярска

чем на окраине. При этом максимумы концентраций диоксида серы в приземном слое атмосферы находятся в промышленных районах.

Для озона анализ пространственного распределения показывает, что уровень содержания  $O_3$  в дневное время внутри города значительно ниже, чем за его пределами. Это подтверждает антропогенную природу окислов азота в приземном слое атмосферы Красноярска.

Анализ пространственной динамики распределения концентраций сероуглерода  $CS_2$  и фтористого водорода  $HF$  по данным стационарной сети наблюдения ЦМС показывает, что выбросы этих загрязнителей от высоких источников загрязнения (промышленные предприятия КрАЗ и «Сивинит») на территории Красноярска создают фон постоянный средний уровень по всему городу.

#### 4. Заключение

Проведенные исследования показали, что процесс формирования уровней загрязнения в приземном слое атмосферы на территории Красноярска определяется, в основном, комбинацией (совокупным действием) низких источников загрязнения, например автомагистралей, пронизывающих ту или иную область на территории города, и факторов рассеивания — «глобальных» (типа НМУ) и «локальных», характерных только для данного района. Выбросы от высоких источников создают фон (постоянный средний уровень загрязнения по всему городу). Для каждого пункта наблюдения на территории города характерен свой средний уровень содержания загрязнителей в течение дня и ночью. При этом доля пре-

вышения максимально разовых ПДК в дневное время с 7 ч. до 23 ч. для окислов азота и СО может достигать 100%.

Формируемые таким образом дозовые нагрузки по отдельным загрязнителям в приземном слое атмосферы на территории Красноярска могут представлять опасность для здоровья людей и, особенно, для отдельных групп населения.

## **Благодарность**

Авторы выражают благодарность проф. Захарову Ю. В., проф. Суховольскому В. Г., начальнику ГУ «Красноярский ЦГМС-Р» Леженину А.А и Дурневу В.Ф. за поддержку, внимание к работе и обсуждение полученных результатов.

## **Список литературы**

- [1] Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека. // Региональные публикации ВОЗ, Европейская серия, 2001, № 85, 293 с.
- [2] БЕЛАН Б.Д., МИКУШЕВ М.К., ПАНЧЕНКО М.В., ПОКРОВСКИЙ Е.В., СЕМЬЯНОВА О.И., ТОЛМАЧЕВ Г.Н., ЩЕРБАТОВ А.И. Особенности прохождения фотохимических процессов в воздухе промышленных центров// Оптика атмосферы. 1991, № 9, т. 4, с. 995–1005.
- [3] ФЕЛЕНБЕРГ Г. Загрязнение природной среды. пер. с нем., М.: Мир, 1997, 232 с.