

**Б.Д. Белан, В.И. Вавер, В.К. Ковалевский, О.Ю. Лукьянов, В.Е. Мелешкин,
М.К. Микушв, М.В. Панченко, А.В. Поданев, Е.В. Покровский, Т.М. Рассказчикова,
А.В. Сибирко, С.А. Тсрпугова, Г.Н. Толмачев, А.И. Щербатов, А.В. Щербатова**

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА г. НИЖНЕВАРТОВСКА I. ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Рассмотрены данные экспериментального определения газового и аэрозольного состава воздуха в районе г. Нижневартовска более чем по 50 ингредиентам.

Выявлен состав загрязнений, их распределение в приземном слое по территории города и вертикальные профили примесей. Проанализирован суточный ход различных компонентов воздуха, рассчитан баланс примесей в районе города и месторождения оз. Самотлор. Показано, что в районе г. Нижневартовска в летний период действуют три источника загрязнений: автотранспорт, факелы сжигания сопутствующих газов и испарение нефтепродуктов, пролитых на подстилающую поверхность; в городском воздухе интенсивно проходят фотохимические процессы, а в ночное время наблюдается оседание углеводов из вышерасположенных слоев воздуха. Сделаны оценки потоков примесей над городом и месторождением.

Введение

Интенсивное развитие нефтедобывающей отрасли на севере Западной Сибири привело к резкому обострению экологической обстановки в этом регионе. Причина заключается в полном пренебрежении к природоохранным мероприятиям в период освоения месторождений, а в последующем и неправильной оценке основных источников загрязнения. В 1991 году ИОА СО РАН было проведено комплексное исследование территории г. Нижневартовска и прилегающих к нему месторождений с помощью самолета-лаборатории АН-30 «Оптик-Э» и мобильной передвижной станции. Измерения выполнялись в теплый и холодный периоды. В настоящей статье излагаются результаты, полученные в августе.

Цель экспедиции заключалась:

- в определении качественного и количественного состава загрязнений;
- анализе пространственной и временной динамики загрязнений вне и внутри города;
- выявлении приоритетных загрязнителей;
- установлении причин и источников загрязнений.

Мобильная экологическая станция, собранная на базе автомобиля ГАЗ-66 (ИОА СО РАН и НПП «Экотехнология»), была укомплектована следующими средствами оперативного контроля воздуха [1]:

- метеокомплекс;
- газоанализаторы ХГ-02 и ГИАМ-15 (озон, оксиды углерода);
- газоанализатор РГА-11 (пары ртути);
- ИРФ (гамма-фон);
- малогабаритный полевой хроматограф ХПМ-4;
- фотоэлектрический счетчик АЗ-5;
- фотоэлектрический нефелометр ФАН.

Самолет-лаборатория АН-30 «Оптик-Э» кроме перечисленных выше комплексов имел в своем составе лидар «Макрель-2» [2].

Таким образом, измерительные комплексы самолета-лаборатории и мобильной станции были почти идентичны. Они позволяли измерять 17 газовых компонентов воздуха и около 40 элементов и ионов в составе взвешенных веществ. Параллельно контролировались метеовеличины и гамма-фон местности.

Для определения концентрации загрязнений в приземном слое воздуха на территории города и за его пределами было намечено 33 точки, в которых проводились измерения. Эти

пункты достаточно равномерно были распределены по площади города и располагались на перекрестках основных автомагистралей, внутри микрорайонов и в промышленных зонах.

Самолет-лаборатория работала синхронно с наземным комплексом по методикам, подробно изложенным в [3].

Полученные данные позволили построить карты распределения всех измеряемых компонентов воздуха не только у поверхности земли, но и по высотам, что дало возможность глубже понять механизм протекающих процессов.

Загрязнение приземного слоя воздуха

Прежде чем приступить к анализу полученных данных, необходимо сделать следующие методические замечания.

Поскольку нашей главной задачей являлось проведение обследования экологической обстановки в городе, то при выборе пунктов измерений основное внимание было уделено местам, которые вызывали повышенную озабоченность природоохранных органов города. Следовательно, приводимые в статье данные измерений в отдельных пунктах и их средние значения характеризуют места повышенной антропогенной нагрузки, и их следует рассматривать как разовые, не пытаясь распространить на весь город в целом. Отметим также, что измерения проводились в течение одной экспедиции в августе 1991 года, поэтому результаты имеют оценочный характер по отношению ко всему летнему периоду, не говоря уже о средних данных ряда лет.

Вначале остановимся на наиболее общих характеристиках загрязнений воздуха. Средние по 33 наземным пунктам концентрации газов по всему массиву представлены в табл. 1 (здесь же приведены зафиксированные в отдельных измерениях максимальные превышения ПДК).

Таблица 1

Средняя концентрация газов в г. Нижневартовске в теплый период

Компонент	Среднее значение	Превышение ПДК (м.р.)*
O ₃ , мкг/м ³	5,0	–
NH ₃ , мг/м ³	0,74	21
Ацетилен, мг/м ³	20,10	–
Ацетон, мг/м ³	20,32	314
Бензин, мг/м ³	8,10	10,4
Бензол, мг/м ³	1,16	2,8
Ксилол, мг/м ³	5,80	105
Σ NO, мг/м ³	1,90	–
NO, мг/м ³	0,41	–
NO ₂ , мг/м ³	1,49	57,6
CO ₂ , мг/м ³	2,23	8,3
CO ₂ , %	0,11	–
SO ₂ , мг/м ³	0,83	5,8
H ₂ S, мг/м ³	6,03	25
Толуол, мг/м ³	3,73	35
Σ СН нефти, мг/м ³	39,80	–
Cl ₂ , мг/м ³	0,04	5
Этиловый эфир, мг/м ³	15,40	–
Σ СН, мг/м ³	214,00	–

(м.р.)* – максимальная разовая ПДК.

Из табл. 1 видно, что из 19 измеряемых газов превышение ПДК в г. Нижневартовске в летний период зафиксировано по 12 веществам: NH₃ ~ 20, ацетон ~ 300, бензин ~ 10, бензол ~ 3, ксилол ~ 100, NO₂ ~ 60, CO ~ 8, SO₂ - 6, H₂S ~ 20, толуол ~ 30, Cl₂ ~ 5 ПДК и только по озону и парам ртути превышение не отмечено. Для остальных шести газов, концентрации

которых также весьма высоки, ПДК не установлены. Особо следует отметить диоксид углерода, концентрация которого в отдельных точках Нижневартовска в 15 раз выше фоновой при среднем значении 0,11% (нормальная составляет 0,034%).

Обращает на себя внимание тот факт, что для некоторых газов их средняя концентрация в местах интенсивной антропогенной нагрузки превышает величину максимальной разовой ПДК. Это относится к аммиаку (~ 3), ацетону (~ 6), бензину (~ 1,5), ксилолу (~ 10), NO₂ (~ 18), SO₂ (~ 1,5), толуолу (~ 6). Это обусловлено как высокой концентрацией перечисленных газов на отдельных пунктах, так и большой повторяемостью появления этих газов на территории города.

Таблица 2

Средний химический состав аэрозоля (мкг/м³) в г. Нижневартовске в теплый период

pH	F ⁻	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	nh ₃	so ₄ ²⁻	Hg ²⁺	As ⁵⁺	Zn ²⁺	Cd ²⁺	Fe	Mg
5,40	2,09	1,07	2,68	11,69	1,14	0,44	0,05	0,81	0,004	0,012	0,20	0,002	6,74	20,37
Mn	Pb	Cr	Sn	W	Ni	Al	Ti	Cu	V	B	Ba	Ca	Si	Co
0,30	0,08	0,27	0,09	0,09	0,01	10,05	1,28	0,07	0,007	0,038	0,11	26,09	17,32	0,08

Табл. 2 дает представление о среднем химическом составе взвешенных веществ в теплый период.

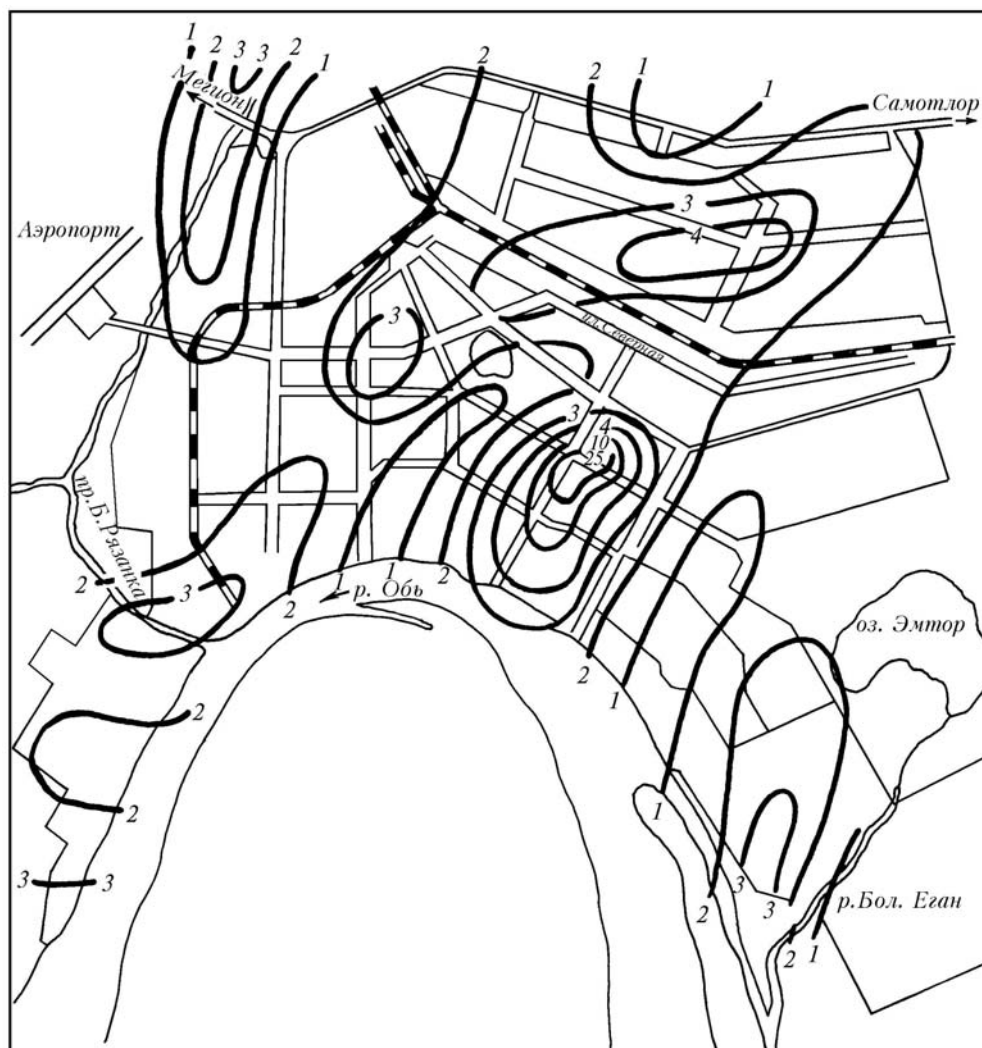


Рис. 1. Распределение концентрации оксида углерода в г. Нижневартовске (мг/м³)
Загрязнение воздушного бассейна г. Нижневартовска

Хотя г. Нижневартовск и относится к наиболее загрязненным взвешенными веществами городам [4], данные табл. 2 это не подтверждают.

По-видимому, на результатах сказались частые дожди, проходившие и период эксперимента, которые приводили к очищению воздуха, и аэрозольное поле не успевало восстанавливаться, так как для этого требовалось около 4–5 дней [5].

В табл. 2 дана низкая величина показателя кислотности pH, равная 5,4, что приближается к значениям, характерным для кислотных дождей [6], и высокая концентрация Mg (~ 20 мкг/м³), которая не наблюдалась в других городах.

Кроме перечисленных в табл. 2 веществ в составе аэрозоля определялись также Mo, Ag, Ga, Jn, P, но их концентрация оказалась ниже порога обнаружения.

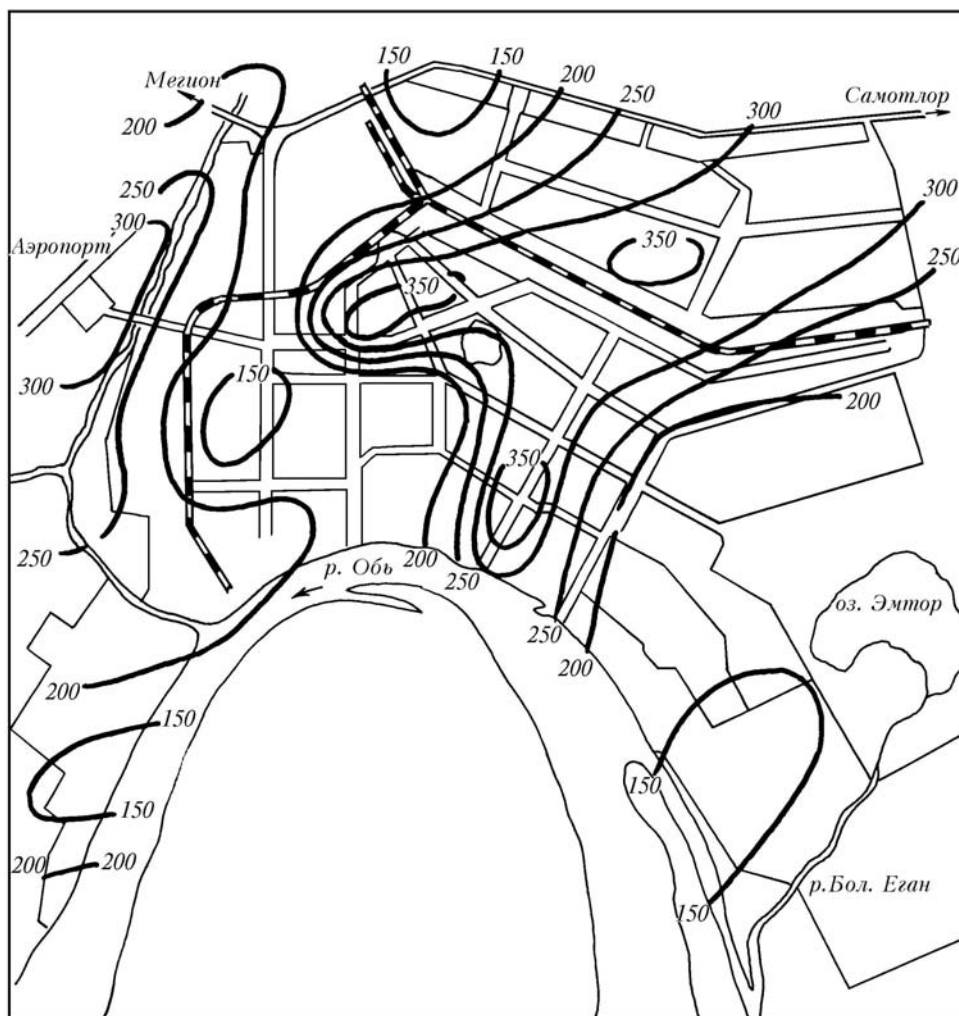


Рис. 2. Распределение концентрации суммарных углеводородов (мг/м³)

В исходной информации об источниках выбросов перед началом эксперимента указывалось, что основным загрязнителем в городе выступает автотранспорт. Анализ пространственного распределения примесей по территории подтверждает этот факт лишь частично.

Если рассматривать распределение оксида углерода по территории города (рис. 1), то видно, что его максимальные концентрации наблюдаются в центральной части и уменьшаются к периферии. Так как максимумы содержания CO соответствуют местам пересечения основных транспортных потоков, то можно с большой степенью уверенности считать, что главным источником CO является транспорт.

Распределение других газов в воздухе указывает на наличие дополнительных источников. Так, в поле суммарных углеводородов, приведенном на рис. 2, можно выделить два возможных источника: зону аэропорта, что вполне понятно, если учитывать интенсивность работы авиации,

и шлейф от месторождения оз. Сомтолор. В городе же происходит увеличение концентрации за счет местных выбросов. Рис. 2, таким образом, показывает, что влияние месторождений сказывается и в приземном слое воздуха.

Вертикальное распределение загрязнений

Наличие вблизи г. Нижневартовска двух месторождений, Мегион и Сомтолор, на которых до сих пор сжигается попутный газ, требует обязательного анализа вертикального распределения примесей, так как при соответствующих направлениях ветра они будут попадать на территорию города.

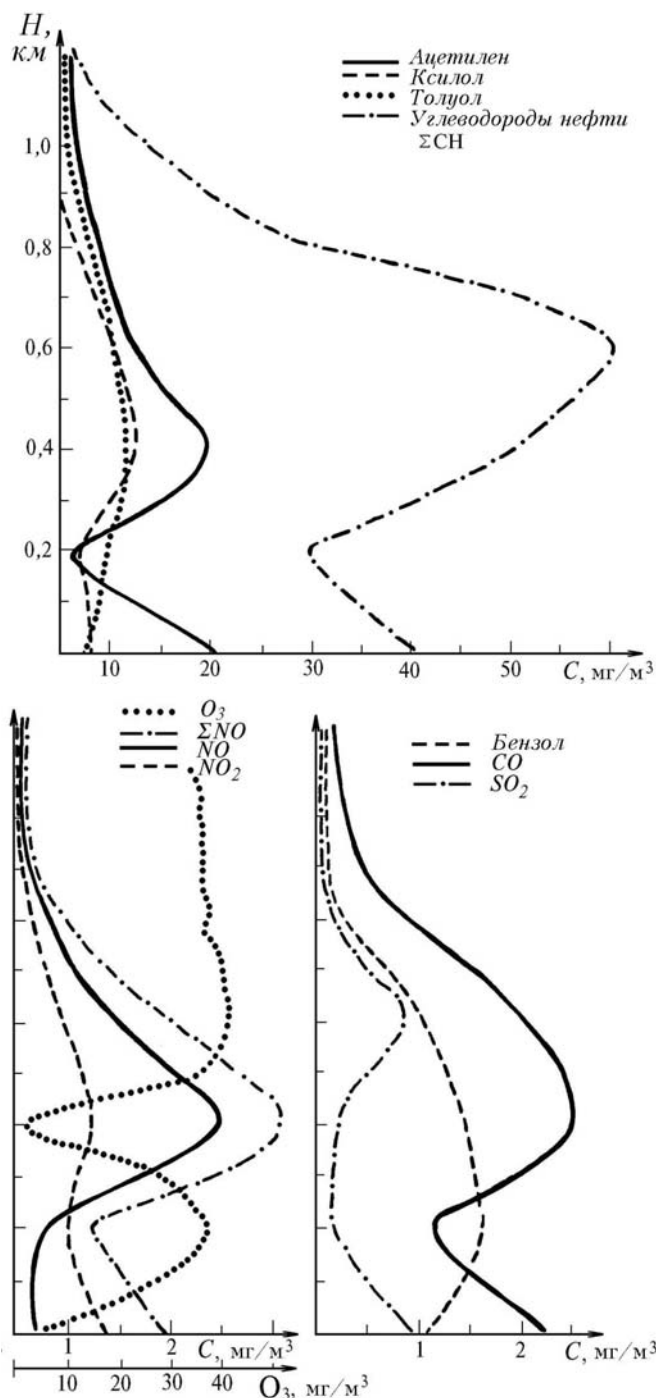


Рис. 3. Вертикальные профили газовых примесей над г. Нижневартовском
Загрязнение воздушного бассейна г. Нижневартовска

Средние профили газовых компонентов воздуха приведены на рис. 3. Общий вывод, который следует из приведенных данных, заключается в том, что источник газовых примесей приподнят над городом и располагается на высоте около 400 м, 7 из 11 газов имеют здесь максимум. У двух газов – углеводородов нефти и SO_2 – максимум концентрации расположен на высоте 600 м.

Вместе с тем видно, что у ряда газов весьма мощный источник имеется и у поверхности земли – это ацетилен, NO_2 , SO_2 , CO .

Обратим внимание на особый характер вертикального распределения озона над городом, а именно, на уменьшение его концентрации почти до нуля на высоте 400 м, там, где наблюдаются максимумы концентраций большинства газов. Проведенный по картам соответствующих уровней анализ показал, что это не единичный факт, а результат постоянно действующего фактора.

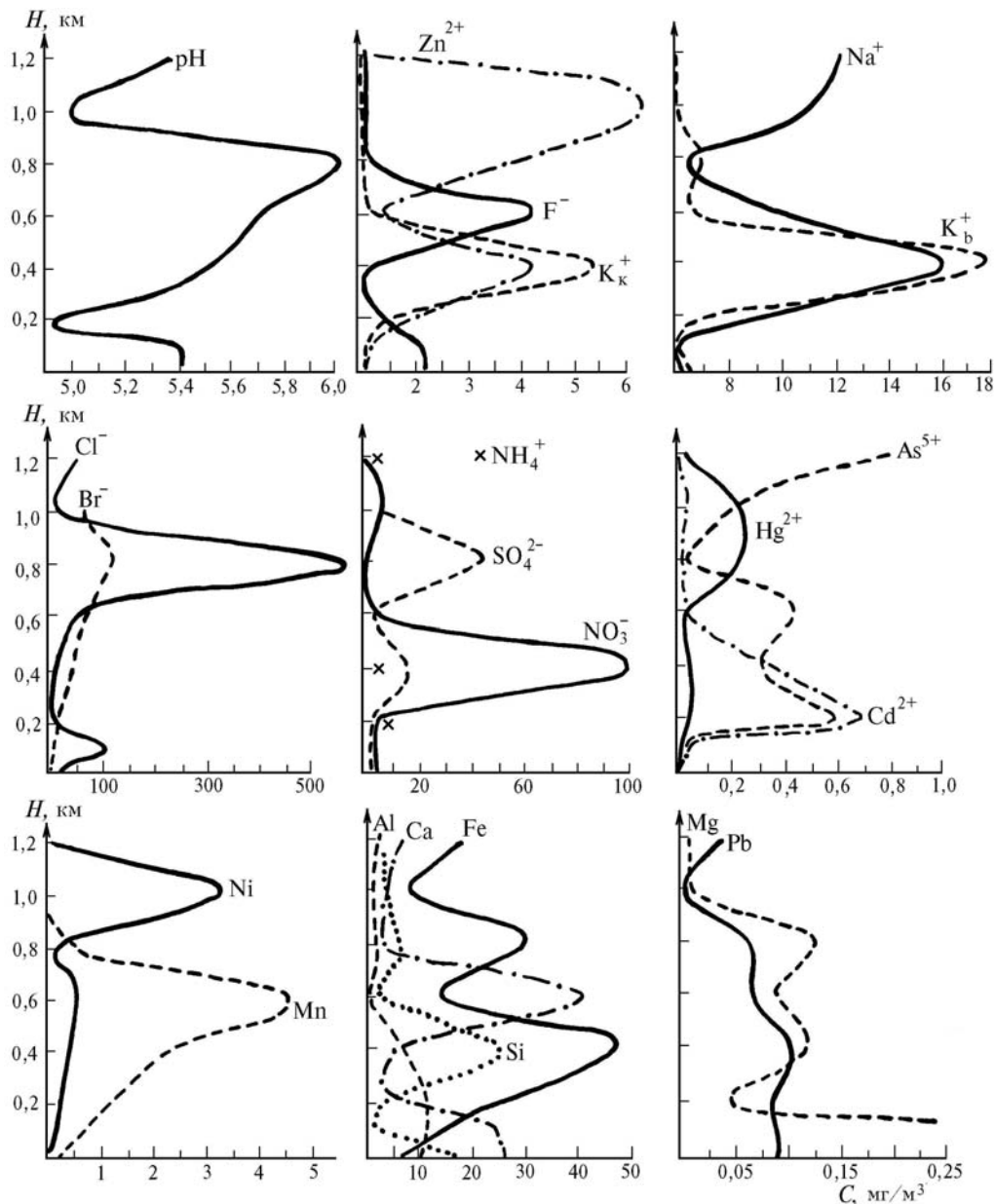


Рис. 4. Вертикальное распределение химических компонентов (C , $\text{мкг}/\text{м}^3$) аэрозоля

Известно, что в продуктах сгорания, как правило, образуется оксид азота, который при наличии озона переводится в диоксид азота по реакции $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$.

Из рис. 3 видно, что мощность источника NO на высоте 400 м настолько велика, что озон не успевает поступать или генерироваться на этом уровне, чтобы обеспечить полный

перевод NO в NO₂. Таким образом, над Нижнеуртовском в теплый период образуется местная «озоновая дыра», расположенная на высоте 400 м.

На этом же уровне, кроме максимума газовых компонентов, обнаруживаются наибольшие концентрации многих химических компонентов аэрозоля. К ним относятся Si, Fe, Pb, NO₃⁻, K⁺, Na⁺, Zn²⁺. Однако химические составляющие взвешенных веществ расслоены значительно сильнее, чем газы. У некоторых из них имеются максимумы концентрации на высотах 200 м – Al, As⁵⁺, Cd²⁺; 600 м – Mn, Ca, F⁻ и 1000 м – Zn²⁺, Ni. Особо выделяется уровень 800 м, где концентрация таких веществ, как Cl⁻, Br⁻, SO₄²⁻, Hg²⁺, существенно выше, чем на остальных высотах.

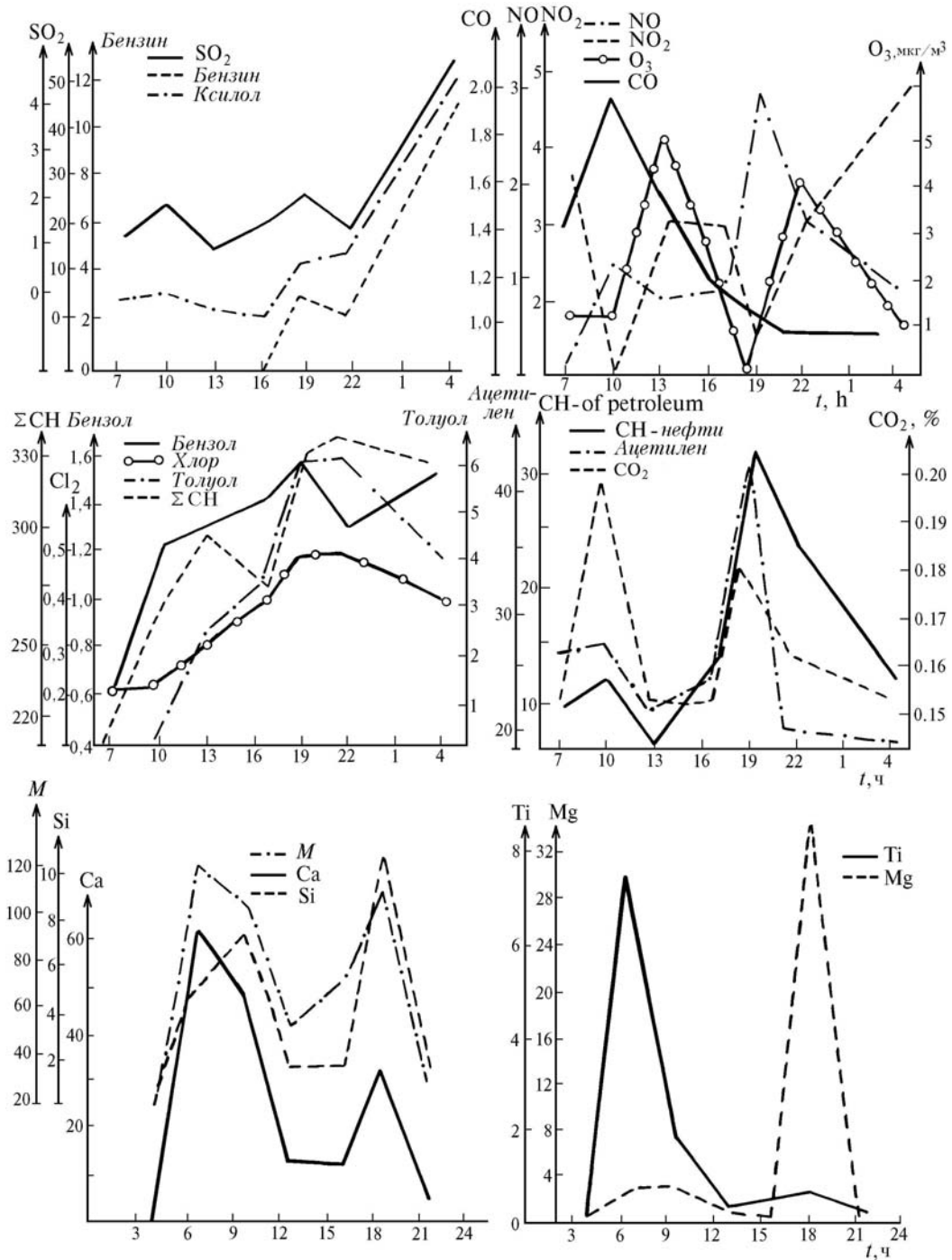


Рис. 5. Суточный ход газовых (мг/м³) и аэрозольных (мкг/м³) компонентов воздуха

Данные рис. 4 показывают, что источником многих компонентов аэрозоля в приземном слое (табл. 2) являются приподнятые выбросы, поступающие вверх. У земли генерируются только Pb и Mg.

Слоистый характер распределения ионов и элементов обусловил и сложный характер вертикального профиля pH . Он обнаруживает минимум на высоте 0,2 и 1 км и максимум на высоте 0,8 км.

Приведенные данные по составу воздуха над Нижневартовском убедительно доказывают, что атмосфера города сильно загрязняется выбросами факелов с прилегающих месторождений.

Суточный ход загрязнений воздуха

Суточный ход концентрации примесей воздуха измерялся в одном из самых загрязненных пунктов города, на перекрестке ул. Мира и Нефтяников. Он отражает действие всех упоминавшихся уже факторов. На рис. 5 приведен суточный ход некоторых компонентов.

Из рис. 5 видно, что массовая концентрация аэрозоля (M), углеводороды нефти, ацетилен, CO_2 , NO в своем ходе имеют два максимума, соответствующие суточному ритму работы технологического автотранспорта. С одной стороны, его работа сопровождается выбросами газов, с другой стороны, поднимается почвенная пыль, о чем свидетельствует ход концентрации Ca и Si.

Во втором разделе статьи мы отмечали высокую концентрацию в составе взвешенных веществ Mg. Учитывая, что технологический транспорт утром выезжает на месторождения, а вечером возвращается обратно, можно сделать вывод, что магний завозится в город извне (рис. 5). В самом же городе в составе взвешенных веществ преобладает Ti.

С деятельностью автотранспорта, по-видимому, связан максимум концентрации CO в утренние часы, так как начинают работать непрогретые механизмы, выбрасывая несгоревшие газы. Вечерний же максимум не наблюдается по двум причинам: меньше выход CO и происходит переработка CO в ходе фотохимических процессов во вторичные примеси. Это же подтверждает и суточный ход CO_2 (рис. 5).

Действие второго фактора – факелов месторождений – демонстрирует суточный ход SO_2 , бензина и ксилола. В течение всего дня их концентрация невелика, а ночью возрастает в 2–3 раза. На наш взгляд, это обусловлено оседанием этих газов из вышележащих слоев воздуха, когда интенсивность турбулентного перемешивания минимальна.

Следующий фактор, который может оказать существенное влияние на концентрацию некоторых газов в г. Нижневартовске, – это испарение нефтепродуктов, пролитых на подстилающую поверхность. Объяснить суточный ход бензола, толуола, хлора и суммарных углеводородов иными процессами не удается.

И наконец, временная динамика NO , NO_2 , O_3 и CO указывает, что в атмосфере города интенсивно идут фотохимические процессы. Это вполне соответствует имеющимся представлениям об их ходе в загрязненной атмосфере [8].

Таким образом, в летний период в г. Нижневартовске можно выделить не один, а три источника загрязнения воздуха – автотранспорт, продукты сгорания от факелов месторождений и испарение нефтепродуктов. Динамика первичных и вторичных газовых примесей показывает наличие фотохимических процессов.

Взаимосвязь различных компонентов загрязнения воздуха

При построении систем оперативного контроля воздуха немаловажное значение имеет вопрос минимизации набора измеряемых величин. Одним из подходов к его решению является определение корреляционных связей между различными загрязнителями. При их наличии, установив предварительно регрессионную зависимость между разными компонентами, можно по изменению концентрации одного из них судить о концентрации остальных. Вторым моментом заключается в том, что по синхронности изменения разных составляющих загрязнения воздуха можно проследить причину их появления, т.е. источник выбросов.

Рассчитанные коэффициенты корреляции между газовыми компонентами воздуха представлены в табл. 3. В соответствии с [9] для данной длины выборки значимым коэффициентом корреляции при вероятности 0,995 будет величина 0,40, при вероятности 0,9995 – 0,49.

Из табл. 3 следует, что такие газы, как O₃, NH₃, ацетон, NO, CO₂, SO₂, не обнаруживают взаимосвязи с другими. Вероятно, это является отражением того факта, что источником их появления в воздухе является действие разных факторов, не связанных между собой.

Наоборот, углеводороды, присутствующие во всех упомянутых выше источниках, достаточно хорошо коррелируют между собой: ацетилен с бензолом, толуолом, углеводородами нефти, суммарными углеводородами; бензол с толуолом; ксилол с углеводородами нефти и суммарными углеводородами; толуол с углеводородами нефти и суммарными; углеводороды нефти с суммарными.

Выбросы автотранспорта проявляются по корреляции ΣNO, NO, NO₂, с одной стороны, и бензина, ксилола, СО, толуола, – с другой.

Непонятна пока особенно тесная взаимосвязь между двумя газами СО и H₂S. Возможно, это также следствие действия автотранспорта.

Усилением турбулентного перемешивания и испаряемости нефтепродуктов с ростом температуры можно объяснить высокую положительную связь температуры с концентрациями углеводородов и оксидами азота. Однако неясна причина отрицательной корреляции температуры с ацетоном.

В первой строке табл. 3 приведены коэффициенты корреляции между температурой воздуха в момент измерения со всеми газами.

Завершая обсуждение данных табл. 3, отметим, что они, в целом, подтверждают сделанные выше выводы о множественности источников загрязнения воздуха в г. Нижневартовске.

Баланс загрязнений в районе г. Нижневартовска

Для исследования баланса примесей воздуха, поступающих извне и генерирующихся на территории города, было проведено зондирование атмосферы по методике, подробно изложенной в [3]. Там же приведены основные соотношения, по которым рассчитывался баланс. Учитывая, что цифровое значение баланса малоинформативно, нами по его числовой величине были рассчитаны потоки загрязнений, направленные к поверхности и от поверхности земли над г. Нижневартовском и оз. Самотлор. Результаты расчета представлены в табл. 4.

Таблица 4

Потоки примеси (т/км² · год) в Нижневартовском районе

Вещество	г. Нижневартовск	оз. Самотлор
NH ₃	-0,4	-0,4
Ацетилен	+ 28,3	+ 112,8
Ацетон	-152,1	-64,6
Бензин	-51,5	-12,2
Бензол	+ 0,3	+ 1,5
Ксилол	+ 32,7	+ 8,3
NO ₂	+ 2,1	-2,3
СО	+ 3,6	-1,4
SO ₂	-0,2	-0,2
H ₂ S	-0,04	+ 1,0
Толуол	-10,9	+ 11,6
ΣСН нефти	-21,0	+ 9,5
Взвешенные вещества	-0,1	+ 2,0
Опускание (-)	-236,24	-81,7
Подъем (+)	+ 67,0	+ 146,7
Баланс	-169,24	+ 65,6

Из табл. 4 видно, что на территорию города опускается в среднем за год 240 т/км². Среди веществ, поток которых направлен вниз, – аммиак, ацетон, бензин, сернистый ангидрид, сероводород, толуол, углеводороды нефти, взвешенные вещества. Из города поднимаются аце-

тилен, бензол, ксилол, диоксид азота и оксид углерода. Общий поток направленный вверх, составляет $\sim 70 \text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$. Баланс потоков, равный $170 \text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$, направлен вниз.

Над оз. Самотлор картина обратная. Здесь, по оценкам, на $65 \text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$ поднимается больше веществ, чем опускается вниз. У аммиака, ацетона, бензина, диоксида азота, оксида углерода, сернистого ангидрида потоки направлены вниз, у остальных – вверх.

Таким образом, общий баланс потоков загрязняющих веществ, приведенный в табл. 4, показывает, что над г. Нижневартовском происходит оседание примесей, а в районе оз. Самотлор – их вынос.

Полученные значения потоков хорошо согласуются с данными, опубликованными в [10] для района г. Мюнхена. Оценки переноса загрязнений, проведенные в Нидерландах [11], также совпадают по порядку величины с оценками, полученными для г. Нижневартовска.

1. Белан Б. Д., Панченко М. В., Солдаткин Н. П. // Материалы 1-й школы-семинара «Экология воздушного бассейна». 1991. С. 17–20.
2. Зуев В. Е., Белан Б. Д., Кабанов Д. М. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. N 10.
3. Белан Б. Д. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 2. С. 205-222.
4. Безуглая Э. Ю., Расторгуева Г. Н., Смирнова И. В. Чем дышит промышленный город. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 256 с.
5. Белан Б. Д., Заде Г. О., П халагов Ю. А., Рассказчикова Т. М. // Изв. АН СССР. ФАО. 1987. Т. 28. N 6. С. 622-628.
6. Хорват Л. Кислотный дождь. М.: Стройиздат, 1990. 81 с.
7. Сигал И. Л. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. Л.: Недра, 1988. 312 с.
8. Фотохимические процессы земной атмосферы. М.: Наука, 1990. 252 с.
9. Мюллер П., Пойман П., Шторм Р. Таблицы по математической статистике. М.: Финансы и статистика, 1982. 278 с.
10. Paffrath D. // Remote Sens., and Earth's Environ.: Some Rap. Present Alpbach Simp. School. Noordwijk, 1990. P. 43–49.
11. Lelieveld J., Jansen F. W., Den Tonkelaar J. F. // Atmos. Environ. 1987. V. 21. N 10. P. 2133–2143.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
5 февраля 1993 г.

Belan B. D., Vaver V. I., Kovalevskii V. K., Lukyanov O. Yu., Meleshkin V. E., Mikushev M. K., Panchenko M. V., Podanev A. V., Pokrovskii E. V., Raskazchikova T. M., Sibirko A. V., Terpugova S. A., Tolmachev G. N., Shcherbatov A. I., Shcherbatova A. V. **Pollution of the Atmosphere over City of Nizhnevartovsk. Part I, Summer.**

Experimental data on more than 50 components of the gaseous and aerosol components of the atmosphere over city of Nizhnevartovsk are analyzed.

Analysis made revealed a set of contaminating species as well as their distribution over the territory of the city and vertical profiles. Diurnal behaviors of different components of air are analysed and a balance of admixtures in the urban area and in the region of oil field at the lake Samotlor. It is shown that during summer period in the region of Nizhnevartovsk there are three sources of air pollutions, i.e., traffic, burning flares of accompanying gas and vaporization of oil spills on the underling surface. It is also shown that intense photochemical processes occur in the atmosphere in the daytime, while in the nighttime there is observed a descent of hydrocarbons from upper layers of air. Estimates of the admixture fluxes over the city and the oil field are obtained.