

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ  
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ им. А. И. ВОЕЙКОВА

Т Р У Д Ы

ВЫПУСК 332

КОМПЛЕКСНЫЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
ЭКСПЕРИМЕНТ  
(КЭНЭКС-72)

Под редакцией  
чл.-корр. АН СССР К. Я. КОНДРАТЬЕВА  
и д-ра физ.-мат. наук М. Е. БЕРЛЯНДА

Гидрометеорологический институт  
БИБЛИОТЕКА  
П.г. 187966 Петроградский пр., 93



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ  
ЛЕНИНГРАД • 1974

274764

В сборнике публикуются работы сотрудников отдела радиационных исследований и отдела атмосферной диффузии и загрязнения, а также работы сотрудников некоторых смежных учреждений по исследованиям, проведенным по программе Комплексного энергетического эксперимента летом 1972 г. в районе г. Запорожья (городской КЭНЭКС).

На основе комплексных экспериментальных данных рассматриваются основные особенности климата города и обсуждаются главные факторы воздействия человека на климат.

Рассчитан на специалистов в области физики атмосферы.

*М. Е. БЕРЛЯНД, К. Я. КОНДРАТЬЕВ,  
В. Ф. ЖВАЛЕВ, И. М. ЗРАЖЕВСКИЙ*

### **ЗАДАЧИ И ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТА КЭНЭКС-72**

В связи с широким проведением работ по рациональному использованию природных ресурсов существенное значение приобретают исследования влияния антропогенных факторов на внешнюю среду и, в частности, изучение химического состава атмосферы и метеорологического режима городов. Важность этой проблемы обусловлена тем, что в городскую атмосферу поступает большое количество различных примесей от выбросов промышленности, автотранспорта и др., что создает специфический микроклимат города. В городах сосредоточено большинство населения нашей страны, причем продолжающийся интенсивный рост городов оказывает все возрастающее влияние на глобальный климат [1, 2].

Анализ имеющихся результатов показывает, что многочисленные данные об особенностях химического состава атмосферы и метеорологического режима городов носят разобщенный характер. До сих пор не были предприняты такие комплексные исследования, которые позволили бы всестороннее изучить как особенности метеорологического режима города (полей температуры, влажности, радиационных характеристик), так и определяющие эти особенности факторы (загрязнение атмосферы, специфика рельефа, оптические и динамические характеристики подстилающей поверхности и др.).

В отделе исследования атмосферной диффузии Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО) накоплен большой опыт изучения химического состава атмосферы городов и их метеорологического режима. Обработка результатов многочисленных экспедиций (Одесса, Донецк, Жданов, Нижний Тагил и др.) показала, что для более глубокого изучения факторов, ответственных за формирование метеорологического режима города, и исследования вопросов влияния городов на климат требуется существенно расширить программу работ, включив в нее более подробные измерения в верхней части пограничного слоя. Большой опыт таких исследований накоплен в результате осуществления экспедиционных работ по программе Комплексного

энергетического эксперимента в отделе радиационных исследований ГГО. Поэтому представлялось целесообразным объединить усилия указанных отделов для разностороннего изучения процесса формирования метеорологического режима города.

В основном силами этих отделов в рамках программы Комплексного энергетического эксперимента в июле—сентябре 1972 г. в г. Запорожье была проведена Комплексная экспедиция КЭНЭКС-72, в задачу которой входило исследование метеорологического режима города и определяющих его факторов, а также изучение глобальных аспектов климата города. Помимо ГГО, в экспедиции принял участие еще целый ряд научно-исследовательских и других организаций. Программа работ предусматривала следующие виды наблюдений:

1) изучение пространственного и временного распределения пыли, сернистого газа, двуокиси азота и окиси углерода в городе при различных метеорологических условиях (ГГО, ГМБ г. Запорожье — отв. Б. Н. Пьянцев);

2) исследование пространственного распределения температуры воздуха, скорости и направления ветра, турбулентных характеристик воздушного потока и их временной изменчивости в пограничном слое атмосферы над городом (ГГО, ОГМИ — отв. Б. И. Вдовин);

3) изучение вертикального распределения температуры воздуха, скорости ветра и горизонтальных пульсаций в нижнем слое атмосферы в городских кварталах и за пределами города (ГГО, ОГМИ — отв. Г. П. Расторгуева);

4) изучение вертикального распределения содержания окиси углерода, сернистого газа, двуокиси азота и фенола в воздушном бассейне города (ГГО — отв. Н. С. Буренин);

5) изучение суточного хода весовой и счетной концентрации пыли, ее химического и спектрального составов (ГГО, ЛГУ, ИЭМ, ЛГМИ, ОГМИ — отв. С. А. Коньков);

6) изучение поля концентраций фтористых соединений в случае источника, расположенного в пределах города (ГГО, ВАМИ, СЭС г. Запорожья — отв. Б. Н. Пьянцев, Т. А. Кузьмина);

7) инвентаризация вредных выбросов в атмосферу г. Запорожья (ГГО, ВАМИ, СЭС г. Запорожья, промышленные предприятия — отв. И. И. Соломатина);

8) наземные спектральные актинометрические наблюдения в условиях города, вне его и под факелом промышленных предприятий (ГГО, УкрНИГМИ — отв. Е. Н. Русина);

9) определение вертикального профиля концентраций и химического состава аэрозоля (ЛГУ, ГГО — отв. Л. С. Ивлев);

10) определение характеристик замутненности атмосферы и спектрального состава аэрозоля с помощью лазерных установок (ИОА СО АН СССР, ГГО — отв. Б. В. Кауль, Б. Новицкий);

11) исследование особенностей вертикальных профилей радиационного притока тепла и его составляющих в атмосфере над городом и вне его (ГГО — отв. М. А. Прокофьев);

12) изучение спектральных особенностей лучистого притока тепла в городской атмосфере, оценка величин аэрозольного поглощения коротковолновой радиации (ЛГУ — отв. О. Б. Васильев);

13) определение интегрального и спектрального альбеда города, угловая структура поля отражения (ГГО — отв. В. И. Корзов, Л. И. Чапурский);

14) инфракрасные изображения тепловых контрастов и особенности суточного хода поля радиационных температур территории города (ГГО — отв. А. П. Черненко, В. А. Белов).

Наземные измерения производились на специально организованных метеостанциях в городе и за городом, а также на 15 пунктах, расположенных в различных районах города. В заключительной фазе экспедиционных работ проведена комплексная метеорологическая съемка, во время которой осуществлялись учащенные измерения всех параметров на большом числе специальных пунктов с одновременной учащенной работой вертолета, самолета, выпусками радиозондов и аэростатным зондированием.

Расположение метеоплощадок, стационарных и временных пунктов наблюдений, траектория полета самолета над городом Запорожьем представлены на схеме (рис. 1).

На рис. 2 показана схема проведения самолетного зондирования атмосферы над городом в период эксперимента. Продолжительность рабочей «площадки» ИЛ-18 на каждой высоте составляла около 8 мин. Большинство измерений в экспедиции производилось в дневное время, однако в процессе эксперимента были выполнены две специальные суточные серии и во время метеорологической съемки также осуществлены непрерывные измерения в течение 2,5 суток. Из всего объема данных измерений наиболее удачными (в смысле полноты комплекса измерений, соответствия необходимых погодных условий, качества измеренных данных и т. п.) следует считать материалы экспедиции, полученные за 21—23, 29, 30, 31 августа 1972 г.

Экспедиция проводилась в условиях слабовыраженной циклонической деятельности с малоградиентным барическим полем. Большую часть времени стояла жаркая сухая погода, со средней суточной температурой выше 20°. Тем не менее, дней с совершенно ясной погодой наблюдалось сравнительно немного, что ограничило объем ряда радиационных наблюдений.

В соответствии с проводимым исследованием, следует выделить по крайней мере две главные особенности г. Запорожья. Одна из них состоит в том, что город вытянут вдоль р. Днепра и это дает возможность изучать влияние как продольных, так и поперечных размеров города на распределение метеорологических элементов в нем. Другая особенность состоит в том, что почти все крупнейшие предприятия города сосредоточены на одной большой промышленной площадке. Поэтому почти все атмосферные выбросы от отдельных предприятий сливаются в один общий дымовой факел, распространяющийся в зависимости от направления ветра на различные районы жилых массивов.

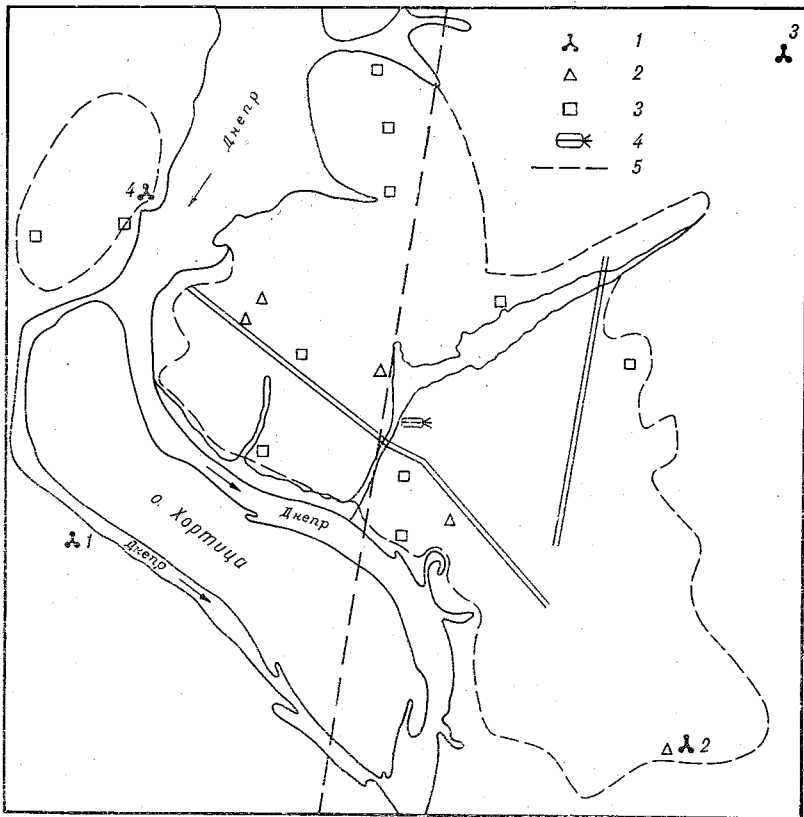


Рис. 1. Расположение метеоплощадок, стационарных и временных пунктов наблюдений. Траектория полета самолета.  
 1 — метеоплощадки, 2 — стационарные пункты, 3 — маршрутные пункты, 4 — пункт подъема привязного аэростата, 5 — маршрут полета самолета ИЛ-18.

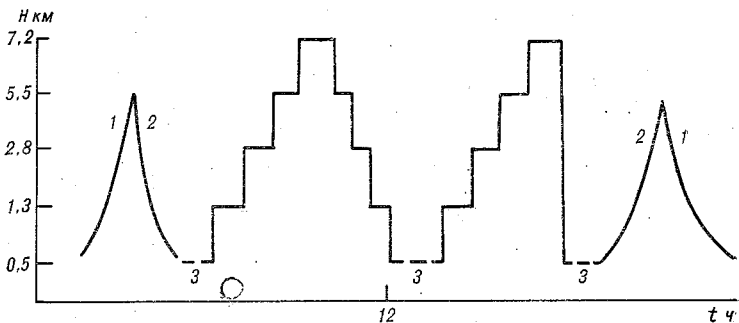


Рис. 2. Схема проведения самолетного зондирования атмосферы над городом.  
 1 — аэрозольный подъем (спуск) над городом, 2 — аэрозольный подъем (спуск) над загородом, 3 — съемка радиационных температур по трассе.

Запорожье — крупный центр металлургической промышленности Украины. Проведенная в период экспедиции «инвентаризация» всех атмосферных выбросов показала, что в общей сложности они превышают 1300 т в сутки. Из них ориентировочно 60% составляет угарный газ, 17% — пыль, 10% — окислы азота, 7% — сернистый газ, 3% — углеводороды, остальные 3% приходятся на хлор, аммиак, фтористые соединения, фенол, сероводород, сероуглерод и др.

По удельному весу промышленное производство определяет около  $\frac{3}{4}$ , а транспорт —  $\frac{1}{4}$  от общей суммы поступающих в атмосферу примесей.

Наряду с количеством выбрасываемых веществ, были также собраны сведения о числе и высоте источников выброса, температуре, скорости и объеме уходящих газов. На ряде крупных предприятий, кроме высоких труб, имеется большое число мелких источников выброса на низких уровнях. Например, 11 предприятий имеют 14 труб высотой от 100 до 120 м, 32 трубы — от 80 до 85 м, 80 труб — от 35 до 45 м и более 700 труб высотой до 5 м.

При изучении закономерностей распространения примеси в городе выделялось две задачи. Одна из них относилась к определению концентрации на разных расстояниях по направлению ветра от источника примеси, другая — к оценке суммарного загрязнения воздуха от многих источников.

Описание методик измерения по отдельным разделам и основные результаты представлены в соответствующих статьях настоящего Сборника. Некоторые результаты проведенных работ по Комплексному исследованию метеорологического режима города опубликованы в [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянд М. Е., Кондратьев К. Я. Города и климат планеты. Л., Гидрометеиздат, 1972. 40 с.
2. Берлянд М. Е., Будыко М. И., Кондратьев К. Я. Климат города и проблема изменения глобального климата. — «Метеорол. и гидрол.», 1973, № 1, с. 3—14.
3. Берлянд М. Е. и др. Комплексное исследование особенностей метеорологического режима большого города на примере г. Запорожья (КЭНЭКС-72). — «Метеорол. и гидрол.», 1974, № 1, с. 14—23.

*Л. Н. ГУСЕВА, Г. П. РАСТОРГУЕВА*

## **СИНОПТИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ И ХОД МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЕРИОД ЭКСПЕДИЦИИ КЭНЭК-72**

Интенсивность атмосферной циркуляции над Украиной в течение года значительно меняется и зависит от режима барических центров, которые стационарируют над северной частью Атлантического океана и Евразией. Циклоническая деятельность здесь наблюдается во все сезоны года, но, как правило, она интенсивнее выражена в холодный период и ослаблена в теплый. Жаркая и сухая погода летом в основном связана с антициклональным режимом погоды, летний период с температурой выше  $15^{\circ}$  является самым длинным сезоном и длится 4 месяца. В сентябре уже начинается быстрое осеннее понижение температуры воздуха. Режим ветра тесно связан с циркуляционными факторами. Зимой в связи с интенсивной циклонической деятельностью на юге Украины наблюдаются ветры разных направлений, в теплое полугодие господствуют северо-западные и северо-восточные ветры с наибольшей повторяемостью скорости ветра в диапазоне  $0-5$  м/с.

Погода в период экспедиции характеризовалась ритмической сменой барических образований с некоторым преобладанием циклонической деятельности. В начале периода, со 2 по 6 VIII, малооблачная и жаркая погода со скоростью ветра  $2-3$  м/с обуславливалась южной периферией стационарного высотного антициклона, центр которого, очерченный 1020-й миллибарой, располагался над Москвой.

Начиная с 7 VIII по южной периферии этой области повышенного давления под влиянием высотного циклона, который находился над западным побережьем Черного моря, начался приток теплого влажного воздуха с юго-востока. Вплоть до 18 VIII район Запорожья находился в зоне влияния вторичных фронтов, связанных с ложбиной высотного циклона. При этом ось ложбины постепенно разворачивалась в широтном направлении. Для этого периода характерны кратковременные ливневые дожди, грозы, увеличение скорости ветра. Температура воздуха в дневные часы



была около  $30^{\circ}$ , влажность около  $30\%$ . Ночью температура была около  $20^{\circ}$ , влажность  $70\%$ . С 19 по 23 VIII установилась очень жаркая и сухая погода с максимальными температурами выше  $35^{\circ}$ , относительной влажностью около  $20\%$  и хорошо выраженным суточным ходом ветра (от  $1-2$  м/с в темное время суток, до  $5-6$  м/с в дневное время).

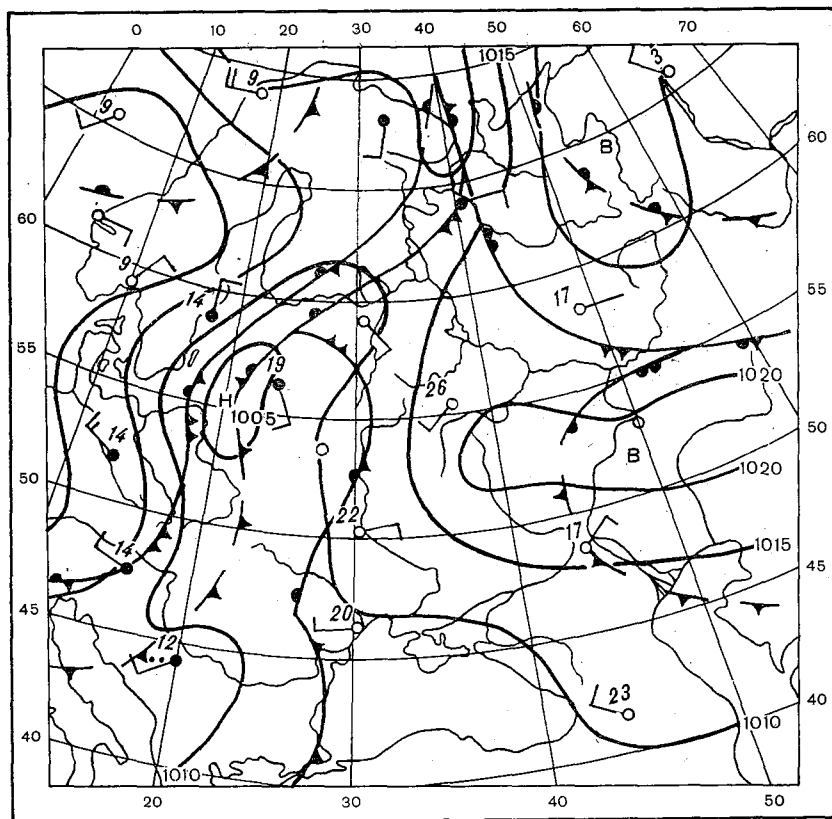


Рис. 1. Синоптическая карта за 3 ч 22 VIII 1973 г.

Такая погода была обусловлена влиянием юго-западной периферии обширного стационарного антициклона, который прослеживался на всех высотных картах, вплоть до поверхности 300 мб. Наземный центр 19 VIII располагался над районами Москвы и к концу периода он сместился на юг Урала (рис. 1).

Из анализа карт барической топографии видно, что очаг тепла, расположенный в слое до 5 км над районами Запорожья, был обусловлен выносом теплых масс воздуха с юга (рис. 2). Скорость ветра на высоте поверхности 500 мб была порядка  $60-80$  км/ч.

С 24 VIII началась циклоническая перестройка барического

поля, завершившаяся 27 VIII образованием обширной узкой ложбины, вытянутой в меридиональном направлении (рис. 3). Связанная с ней фронтальная система способствовала в течение 24—27 VIII нарушению обычного суточного хода скорости ветра,

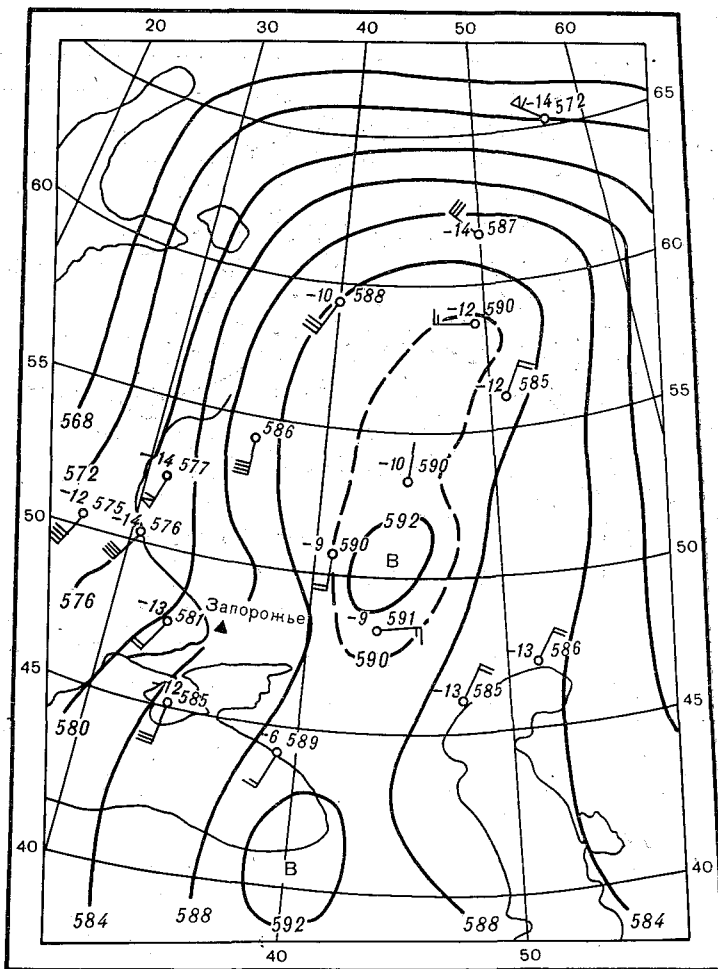


Рис. 2. Карта барической топографии АТ-500 за 15 ч 23 VIII 1973 г.

уменьшению температуры воздуха, образованию сплошной облачности и ливневых дождей.

В период проведения комплекса микрометеорологических съемок внутри городской территории и над городом (28—30 VIII) погода обуславливалась малоградиентным полем юго-восточной периферии усиливающегося антициклона, центр которого с севера

Скандинавии смещался в юго-восточном направлении. В это время преобладала малооблачная погода с северо-восточными ветрами скоростью днем до 7 м/с, ночью — около 2—4 м/с. Внутри городской территории ночью во многих пунктах отмечался штиль. Переход к осеннему периоду совпал с календарной датой. С 1 IX район наблюдения находился под влиянием южной периферии

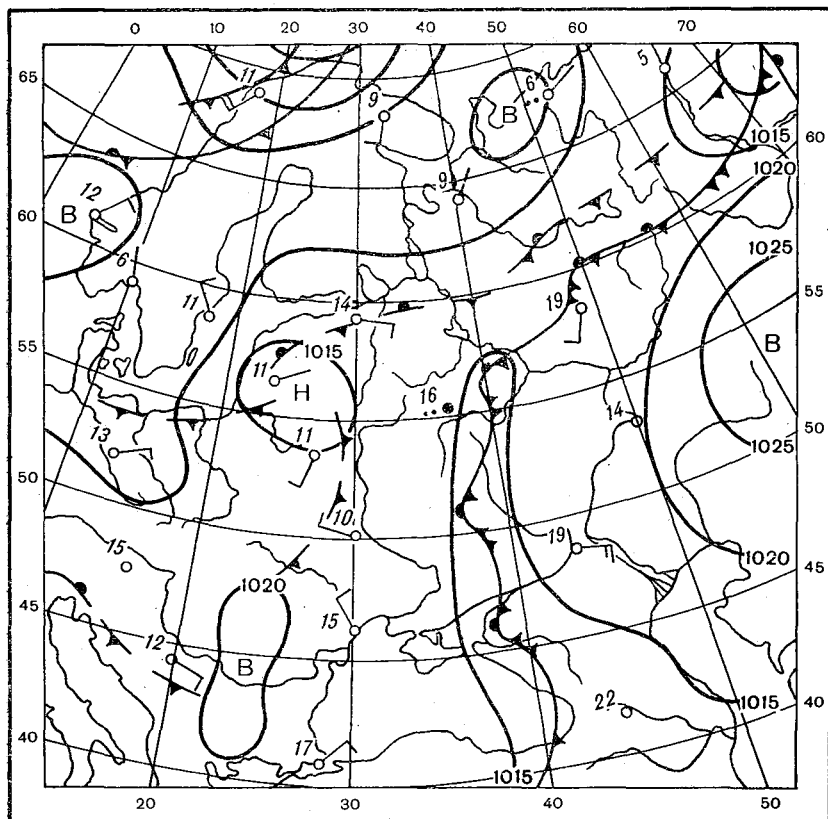


Рис. 3. Синоптическая карта за 3 ч 28 VIII 1973 г.

глубокого циклона над Исландией, центр которого быстро смещался в восточном направлении. Под влиянием фронтальной системы этого циклона в Запорожской области усилилась скорость ветра, увеличилась влажность воздуха, понизилась температура воздуха.

Таким образом, экспедиционный период характеризовался малостойчивой погодой, обусловленной влиянием высотных барических образований. Было отмечено всего 5 ясных дней, в остальное время преобладали дни с переменной облачностью. Из 12 дней с ливневыми дождями в 7 случаях наблюдались грозы.

Интенсивные выносы теплого воздуха с юга способствовали тому, что в течение 12 дней средняя суточная температура воздуха превышала  $25^{\circ}$ , а средняя месячная температура августа почти на  $3^{\circ}$  была выше климатической нормы. Скорость ветра за период экспедиции была тоже несколько выше климатической нормы.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Справочник по климату СССР, вып. 10. Л., Гидрометеиздат, 1967, с. 8—18.

*И. В. ВАСИЛЬЧЕНКО, Б. И. ВДОВИН*

## **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРАТИФИКАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД ГОРОДОМ**

Известно, что метеорологический режим в условиях большого города отличается определенными особенностями по сравнению с загородной местностью. Об этом свидетельствуют результаты ряда исследований, обзор которых можно найти, например, в работах [1, 2]. Эти особенности изучались в основном по данным наземных наблюдений, как более доступных, поэтому о трансформации пограничного слоя над городом известно мало.

В связи с этим для изучения влияния города на структуру пограничного слоя программой экспедиционных работ в г. Запорожье было предусмотрено проведение комплекса аэрологических наблюдений непосредственно на территории города и в загородной местности. Возможности существующих аэрологических методов и специфика поставленной задачи определили выбор методов и их сочетание. Для наблюдений за вертикальным распределением температуры и других характеристик над городом и в его окрестностях использовались выпуски радиозондов, подъемы вертолета и аэростата. Программа была составлена так, чтобы наблюдения различными методами увязывались по времени и дополняли друг друга.

В период экспедиционных работ были организованы три временных пункта радиозондирования: в центре города, на южной окраине и за городом. Радиозондирование выполнялось с помощью радиозондов А-22-IV и А-22-VII. Выпуски производились одновременно на всех пунктах в сроки 2, 6, 14, 21 ч по местному декретному времени. В результате были получены данные о вертикальном распределении температуры, влажности, скорости и направления ветра над центральным и окраинным районами города, а также в его окрестностях.

В центральной части города был оборудован пункт аэростатного зондирования, который использовался для подъемов в воздух на тресе привязного аэростата метеорографа конструкции ГГО,

а также прибора для регистрации порывистости ветра (приборы и методика описаны в [3]). Подъемы метеорографа производились в четные часы суток до высоты 300—350 м. Пункт аэростатного зондирования и находившийся рядом с ним пункт радиозондирования располагались на дне балки глубиной около 80 м.

В дневные и особенно утренние часы, в период разрушения радиационных инверсий, производились вертикальные зондирования пограничного слоя до высоты 1000 м над различными районами города и в его окрестностях с помощью вертолетов, оборудован-

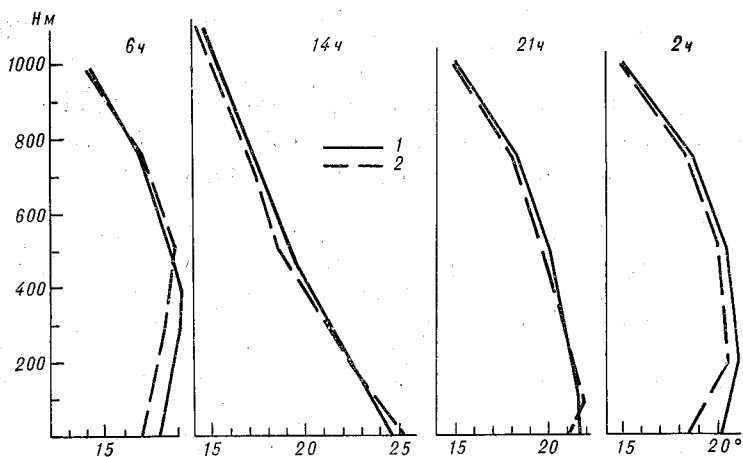


Рис. 1. Распределение температуры в пограничном слое атмосферы над городом Запорожьем (1) и загородом (2).

ных метеорографом А-10 и электрометеорографом. Во время полетов велись наблюдения за видимостью и атмосферными явлениями.

В городе и загородом были организованы также однопунктные и базисные шаропилотные наблюдения. Одновременное применение нескольких методов зондирования в городе и за городом позволило обнаружить некоторые различия в температурном режиме пограничного слоя.

На рис. 1 приведены средние кривые стратификации в сроки 6, 14, 21 и 2 часа, полученные по данным радиозондирования. Из рисунка видно, что в ночные и ранние утренние часы в слое до 200—450 м преобладало инверсионное распределение температуры, однако интенсивность и высота приземных инверсий в городе были меньшими, чем за городом, т. е. стратификация в городе была менее устойчивой. Днем в нижнем, примерно полукилометровом слое наблюдалось преимущественно неустойчивое состояние, причем опять-таки неустойчивость в городе была меньшей, чем загородом.

Осредненные результаты радиозондовых наблюдений дают, естественно, лишь самое общее представление о различиях в стратификации пограничного слоя. Например, по данным радиозондирования заметных различий в повторяемости приземных инверсий в городе и за городом обнаружить не удалось. Вместе с тем материалы 14 аэростатных подъемов в ночные часы показали, что в нижнем 300-метровом слое над городом распределение температуры с высотой может быть весьма различным. По аэростатным данным только в 3 случаях из 14 приземные инверсии наблюдались от дна балки до высоты 200—300 м над городом. В половине случаев инверсия наблюдалась только в балке и в 4 случаях инверсия в балке сменялась приподнятой инверсией над нею. Таким образом, приземным инверсиям за городом в большинстве случаев соответствовало падение температуры над городом (до высоты подъема аэростата) или приподнятые инверсии в этом слое. Выпуски радиозондов, вследствие инерционности прибора и сравнительно большой скорости подъема, во всех этих случаях давали, естественно, приземную инверсию, выходящую за пределы балки. По вертолетным наблюдениям в 7—8 ч утра приземные инверсии над городом наблюдались только в 30% случаев, а за городом — вдвое чаще. Одновременные зондирования в эти же сроки над городом и за городом с наветренной и подветренной стороны, выполнявшиеся двумя вертолетами, показали, что нижняя граница приподнятых инверсий над городом и с подветренной стороны располагалась выше, чем с наветренной, а интенсивность инверсий была меньшей. Образование радиационных инверсий начиналось, как правило, в 19—20 ч, ночью они усиливались, к 7—8 ч утра переходили в приподнятые и к 9—10 ч полностью исчезали.

Радиозондовые данные позволили также обнаружить некоторые особенности в величине и вертикальном распределении суточных амплитуд температуры над городом и в его окрестностях. За величину амплитуды приняты средние разности температур в сроки 6 и 14 ч для 16 пар радиозондовых подъемов (табл. 1).

Таблица 1

Район	Высота, м						
	0	100	200	300	400	500	750
Центр города . . . . .	6,6	5,4	4,2	2,9	1,8	1,0	0,4
Окрестности . . . . .	8,3	7,3	4,0	2,4	1,1	0,0	0,0
Разность . . . . .	-1,7	-1,9	0,2	0,5	0,7	1,0	0,4

Как видно из таблицы, до высоты 100 м амплитуды температуры над городом заметно меньше, чем в окрестностях. В вышележащем слое положение меняется на обратное. В связи с этим напрашивается вывод, что причину этого можно искать

в ночном выхолаживании дымовой шапки (о чем уже упоминалось) и ее дневном нагревании. Следует отметить, что по визуальным наблюдениям с вертолета плотность дымовой шапки была наибольшей в слое от 300 до 500 м.

Уже из рис. 1 можно видеть, что между городом и окрестностями имели место разности температур, различные по величине, а частично и по знаку, на разных высотах и в разное время суток. Более наглядно это представлено на рис. 2, где изображены изо-

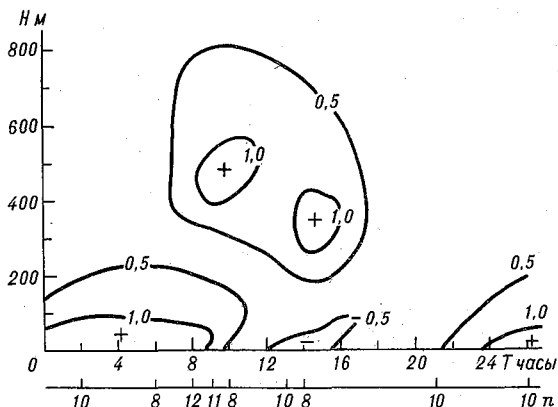


Рис. 2. Изолинии разностей температур город—загород в пограничном слое над г. Запорожеством.

линии разностей температур между центром города и загородом по данным радиозондирования, аэростатных и вертолетных подъемов. В ночные часы разности температур город—загород положительны и в нижнем слое высотой около 200 м наблюдается городской «остров тепла». Разности температур у земли в 9—10 ч начинают быстро уменьшаться и в полуденные часы становятся даже отрицательными. К вечеру разности температур во всем слое выравниваются, а после захода Солнца восстанавливается городской остров тепла. Примечательно здесь появление более теплого слоя над городом после восхода Солнца с максимумом относительного перегрева на высотах от 300 до 500 м, совпадающих с уровнями наибольшей плотности дымовой шапки.

Из приведенных данных, относящихся к теплomu периоду и условиям жаркой и сухой погоды, видно, что город оказывает заметное влияние на стратификацию и температурный режим пограничного слоя, причем это влияние меняется в течение суток.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянд М. Е., Кондратьев К. А. Города и климат планеты. Л., Гидрометеиздат, 1972. 40 с.
2. Расторгуева Г. П. Особенности термического режима городов.—«Тр. ГГО», 1969, вып. 238, с. 145—152.
3. Воронцов П. А. Методы аэрологических исследований пограничного слоя атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1961. 224 с.



## ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА ЗА ПЕРИОД ЭКСПЕДИЦИИ В ЗАПОРОЖЬЕ

Распространение примесей от источников разного вида в значительной мере зависит от распределения метеорологических параметров, характеризующих состояние атмосферы. Определяющую роль при этом играют параметры турбулентного обмена в приземном слое атмосферы. Распределение по вертикали скорости ветра, температуры и влажности воздуха изменится в течение суток и сложным образом зависит от типа погоды. Существенной характеристикой состояния атмосферы является коэффициент турбулентного обмена на высоте 1 м, по величине которого можно судить об интенсивности вертикального обмена. Кроме того, распределение примесей внутри городской территории зависит от скорости ветра и повторяемости направления ветра. Метеорологические параметры в городе и вне его существенно отличаются друг от друга, причем эти различия непостоянны во времени и зависят как от общих циркуляционных условий, так и от времени года и суток.

Применительно к задачам исследования распространения примесей вокруг промышленных источников в сложных условиях города и его окружения летом 1972 г. проводились метеорологические наблюдения на двух площадках: на ровной и открытой местности и внутри городской застройки. Основная площадка располагалась в слабо пересеченной местности к западу от города на правом высоком берегу Днепра, в районе поселка Бабурка. Пункт наблюдения находился на заброшенной плантации виноградника, открытой со всех сторон, кроме южной стороны, где на расстоянии 40 м от площадки имелась лесозащитная полоса. Растительность на поле имела вид кустарника, высота которого менялась от 15—20 см в начале экспедиции до 30—50 см в конце; возле приборов она скашивалась. Почва — обыкновенный малогумусный чернозем. На площадке проводились градиентные и теплобалансовые измерения. Программа градиентных наблюдений охватывала широкий

комплекс метеорологических параметров: измерялись скорость ветра на 8 уровнях (0,25; 0,5; 1; 2; 4; 9; 12 и 15, 5 м), температура и влажность воздуха на пяти уровнях (0,5; 2,0; 5,0; 9,0 и 14,5 м), температура почвы на пяти уровнях (0,5, 10, 15 и 20 см), направление ветра на высоте 6 м.

Температура и влажность воздуха измерялись электрическими термометрами сопротивления, подвешенными на телескопической мачте вертикально, а также с помощью аспирационных психрометров, подвешенных на малых мачтах горизонтально. Скорость ветра измерялась контактными анемометрами М-25, направление ветра — самописцем М-12, температура почвы — ртутными термометрами. Теплобалансовые наблюдения состояли из обычных актинометрических измерений и определения влажности почвы. Проводились визуальные наблюдения за облачностью, атмосферными явлениями и городским факелом.

Городская метеоплощадка находилась на обширном полигоне юго-восточной окраины города в новом Космическом районе, где преобладают новостройки с широкими улицами и площадями. Деятельная поверхность представляла собой плотно утрамбованную землю со скудной растительностью.

Градиентные наблюдения состояли из измерения скорости ветра на 5 уровнях (0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 4,9 м) и температуры и влажности воздуха на трех уровнях (0,2; 0,5; 2,0 м). Проводилась круглосуточная запись пульсаций направления ветра по самописцу М-64, датчик которого был укреплен на высоте 6 м. Определялись составляющие солнечной радиации по актинометрическим приборам, проводились визуальные наблюдения.

Программа наблюдений на обеих площадках выполнялась синхронно и предусматривала круглосуточные измерения с перерывом в воскресные дни. В течение суточной серии проводилось до 11 сроков наблюдения; каждый срок наблюдения продолжался в течение часа, начиная с 30-й минуты. За период экспедиции проведено 20 суточных и 9 полусуточных серий, в результате получен большой объем градиентных и теплобалансовых данных, позволяющий детально охарактеризовать метеорологический режим за период экспедиции, а также полезный при решении ряда диффузионных задач.

Общий метеорологический режим складывался под влиянием слаборазвитых циклонических и антициклонических образований на фоне малого увлажнения и еще значительной интенсивности солнечной радиации. Построенная за период экспедиции гистограмма количества облачности (рис. 1), для городских и внегородских условий показывает, что общая облачность в среднем не превышала 6,5 балла, нижняя — 4 баллов. Днем количество облачности было несколько больше за счет образования кучевых форм, причем над городом более интенсивного. В отдельные дни образование кучевой облачности завершалось прохождением кратковременных ливневых дождей. При этом над городом отмечено несколько большее число дней с ливнями, чем над Бабуркой.

В августе интенсивность солнечной радиации в связи с уменьшением высоты Солнца начинает уменьшаться. По данным наблюдений в среднем за период экспедиции суммарная радиация составляла днем  $0,86 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , в малооблачные дни в околополуденные часы она увеличивалась до  $1,1 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , в пасмурные дни уменьшалась до  $0,4 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Доля поло-

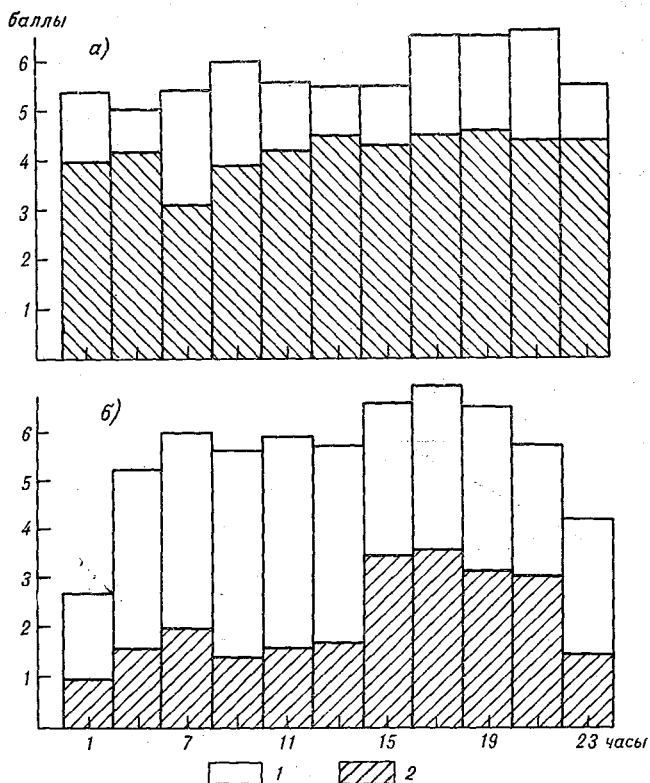


Рис. 1. Суточный ход количества облачности, осредненный за период экспедиции.

а — город, б — Бабурка; 1 — общая облачность, 2 — нижняя облачность.

жительного радиационного баланса в околополуденные часы составляла около 70% от суммарной радиации. Период с отрицательным радиационным балансом относился к темному времени суток, интенсивность его составляла  $0,5—0,8 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Интенсивность прямой солнечной радиации в сильной степени зависела от облачности. Максимальное ее значение на горизонтальную поверхность превысило  $0,85 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Альбедо в летнее время меняется мало. В среднем для района Бабурки, где преобладал чернозем, покрытый неплотной растительностью, значение альбедо изменялось в пределах  $0,13—0,15$ . В городе за счет дру-

гого покрытия и влияния вертикальных стен зданий значение альbedo было увеличено до 0,18—0,21. В течение суток альbedo на обоих пунктах плавно менялось с минимальным значением в 13 ч. Сравнение данных актинометрических наблюдений для двух пунктов, отстоящих друг от друга на расстоянии более 15 км, показывает, что на интенсивности составляющих солнечной радиации сильно сказывается пестрота в ходе кучевой облачности. Большое влияние оказывает также городской факел промышленных предприятий, снижающий интенсивность солнечной радиации, причем степень

уменьшения ее зависит от плотности и высоты факела. Это обстоятельство затруднило установление взаимосвязи актинометрических данных обоих пунктов.

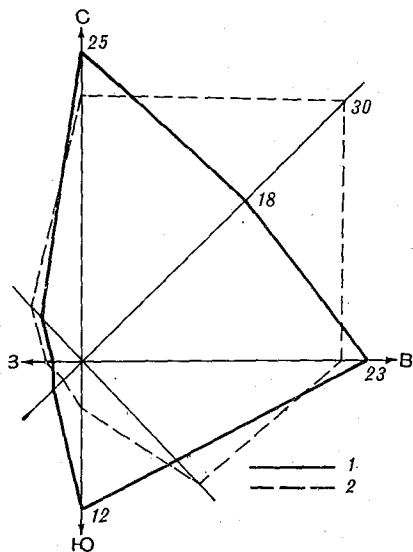


Рис. 2. Роза ветров для двух пунктов наблюдений.

1 — город, 2 — загород.

Таблица 1

Повторяемость (%) разных градаций скорости ветра на высоте 1 м

Градация скорости ветра, м/с	Город	Бабурка
0—1,0	6	7
1,1—2,0	31	40
2,1—3,0	31	36
3,1—4,0	21	15
4,1—5,0	9	2
5,1—6,0	2	0
Общее число случаев	303	333

Одним из существенных факторов, влияющих на распределение примесей, является повторяемость направления ветра. Розы ветров, построенные за период экспедиции для обеих площадок (рис. 2), указывают на максимальную повторяемость ветров северо-восточного квадранта. Подобное распределение направления ветра в общих чертах совпадает с многолетним, следует лишь отметить уменьшение повторяемости ветров юго-западного квадранта и уменьшение числа штилей. Из распределения повторяемости разных направлений ветра следует, что почти в 50% случаев обе площадки находились на подветренной стороне по отношению к городу, который является источником промышленного факела.

Рассмотрим отдельно характеристики турбулентного обмена: скорость ветра на высоте 1 м, разность температур в слое 0,5—2,0 м, комплексную характеристику  $\Delta t/u_1^2$  и коэффициент турбулентности на высоте 1 м, полученные на основании наблюдений за период экспедиции.

Скорость ветра на высоте 1 м ( $u_1$ ) изменялась в широких пределах: от 0 до 6 м/с. Распределение скорости ветра по грациям для обоих пунктов наблюдения представлено в табл. 1.

Как видно из таблицы, преобладала скорость ветра в диапазоне 1—3 м/с. Некоторое превышение скорости на городской площадке по сравнению с Бабуркой следует, видимо, отнести за счет влияния широких улиц, а также вершинного положения площадки наблюдения на пологом холме. В суточном ходе значение  $u_1$ , осредненное за период экспедиции, менялось незначительно — для городской площадки средняя суточная амплитуда составила 1,2 м/с, для загородной — 1,4 м/с. Максимальные значения  $u_1$  наблюдались в дневное время, минимальные — в ночное. В отдельные дни (21, 24, 25 VIII) правильный суточный ход вследствие влияния циркуляционных факторов нарушался и суточная амплитуда увеличивалась до 3,5—4,0 м/с.

Градиент температуры в приземном слое воздуха, представляющий собой разность температур на уровнях 0,5 и 2,0 м ( $\Delta t$ ), в течение суток изменялся периодически с максимумом в послеполуденные часы и минимумом ночью. Днем наблюдались сверхадиабатические градиенты, ночью — инверсионные. На рис. 3 представлены кривые суточного хода градиента температуры, осредненного за период экспедиции для обеих площадок. Стрелками показаны минимальные и максимальные значения  $\Delta t$ . Средняя суточная амплитуда  $\Delta t$  вне города на 30% выше, чем в городских условиях. Отдельные максимальные значения градиента в загородных условиях составляли 2,8° днем и —2° ночью. Приземные инверсии температуры как за городом, так и в условиях города были характерны для вечерних, ночных и ранних утренних часов. Инверсии за городом образовывались почти сразу после захода Солнца и разрушались после восхода. В городе наступление инверсий происходило с некоторым запаздыванием, они были слабее и разрушались медленнее, чем за городом.

Комплексная характеристика  $\Delta t/u_1^2$ , являющаяся аналогом числа  $R_i$ , рассчитывалась для всех имеющихся значений  $u_1$  и  $\Delta t$ . Результаты расчетов представлены в табл. 2. В таблицу не вошли случаи, когда  $u_1 \leq 0,5$  м/с, составляющие около 6% всех наблюдений. Следует отметить, что в дневных условиях (9—17 ч) значения  $\Delta t/u_1^2$  для городских и внегородских условий мало отличаются друг от друга, в то время как в ночные сроки, когда преобладали инверсии, эти различия весьма существенны.

Коэффициент турбулентного обмена на высоте 1 м ( $k_1$ ) рассчитывался согласно [1] по значениям вертикальных градиентов температуры в слое 0,5—2,0 м ( $\Delta t$ ) и скорости ветра ( $\Delta u$ ) в этом же слое. Результаты расчетов даны на рис. 4, где выделены ясные дни и дни с переменной облачностью отдельно для городских и внегородских условий.

Из графика видно, что для ясных дней характерны повышенные значения  $k_1$  днем и пониженные ночью по сравнению с днями с переменной облачностью. Абсолютные величины коэффициента

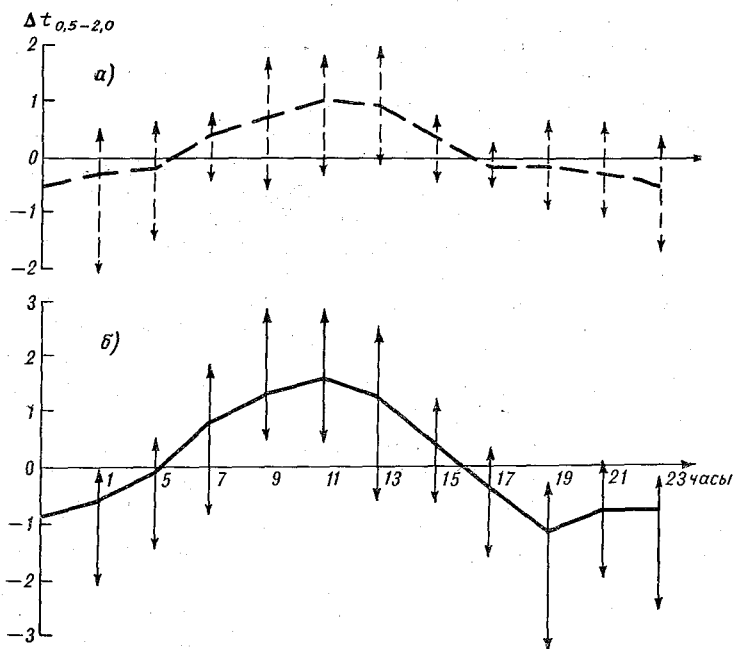


Рис. 3. Суточный ход разности температур в слое 0,5—2,0 м.  
а — город, б — загород.

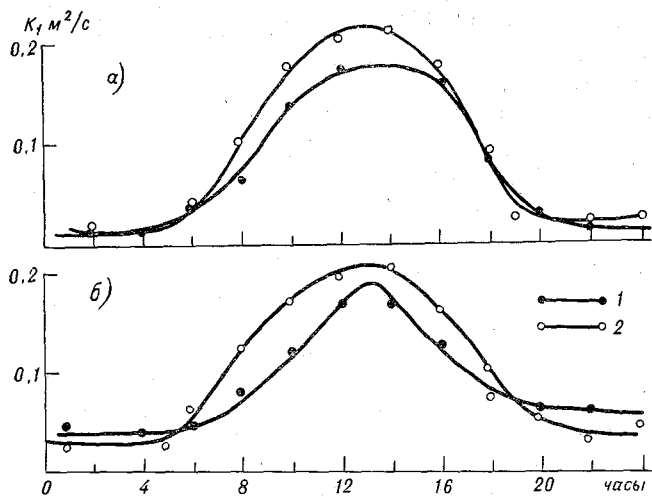


Рис. 4. Суточный ход  $K_1$ .  
1 — дни с переменной облачностью, 2 — ясные дни; а — город, б — загород.

Таблица 2

Средние и экстремальные значения  $\Delta t/u_1^2$  для загородных и городских условий

Место наблюдений		Часы				
		1	5	7	9	11
Загородные условия (Бабурка)	Средн.	-0,58	-0,36	-0,10	0,17	0,25
	Макс.	-0,03	0,00	3,33	0,74	0,65
	Мин.	-1,63	-1,07	-0,56	-0,62	0,03
Число случаев		18	17	18	25	27
Городская площадка	Средн.	-0,15	-0,06	-0,01	0,14	0,21
	Макс.	0,0	0,04	0,12	0,74	1,80
	Мин.	-0,71	-0,52	-0,19	-0,06	0,00
Число случаев		12	11	18	24	28

Место наблюдений		Часы					
		13	15	17	19	21	23
Загородные условия (Бабурка)	Средн.	0,22	0,24	0,09	-0,13	-1,28	-0,31
	Макс.	0,47	1,11	0,59	0,10	0,02	0,04
	Мин.	0,02	0,04	-0,49	-2,50	-2,8	-0,89
Число случаев		25	26	27	25	23	21
Городская площадка	Средн.	0,28	0,12	0,07	-0,06	-0,07	-0,12
	Макс.	1,40	0,77	0,33	0,10	0,17	0,08
	Мин.	0,03	0,01	-0,03	-0,62	-0,44	-0,43
Число случаев		14	27	27	25	11	14

для городских и внегородских условий мало отличаются друг от друга из-за того, что в условиях города значения  $\Delta t$  были меньше, а  $\Delta u$  больше, чем за городом. Сравнительно высокие значения  $k_1$  сохранялись в течение 5—6 ч: с 10 до 16 ч, отдельные значения коэффициента обмена составляли в ясные дни 0,25 м<sup>2</sup>/с.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по градиентным наблюдениям. Л., Гидрометеиздат, 1964, 56 с.

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ГОРОДА ЗАПОРОЖЬЯ

В соответствии с комплексной программой экспедиционных исследований в Запорожье были организованы детальные наблюдения за некоторыми метеорологическими параметрами в приземном слое воздуха внутри города. Цель наблюдений состояла в определении количественных характеристик одной из особенностей термического режима города — «острова тепла». Интересно было проследить изменчивость интенсивности этого «острова» в течение суток и определить время максимальной его интенсивности при данных условиях погоды. Кроме того, расположение города на пересеченной местности позволило ставить задачу о влиянии топографии на форму, размер и интенсивность острова тепла. Желательно было провести данные измерения при радиационном типе погоды, когда лучше всего проявляются микроклиматические особенности. Это условие было выполнено лишь отчасти, так как период наблюдений (28—31 VIII 1972 г.) хотя и совпал с наступлением малооблачной погоды, но определялся малоградиентным полем восточной периферии ложбины; преобладали ветры северных и северо-восточных направлений при скорости днем до 6—8 м/с.

Для микросъемок была выбрана центральная часть города на левом высоком берегу Днепра. Она состоит из главной магистрали (проспект Ленина) протяженностью около 20 км и шириной 15—30 м и пересекающих ее более узких улиц длиной 4—5 км. Исследуемый район города асфальтирован и хорошо озеленен. Преобладающий тип застройки — современные многоэтажные здания, по окраине центральной части встречаются старые одноэтажные дома. Эту часть города пререзают балки, в одной из которых также проводились наблюдения для микросъемок. Северная часть города несколько выше южной, наибольший перепад высот 70 м.

Четыре пункта наблюдений, на которых влияние города отсутствовало или было незначительным, приняты в качестве опор-



ных: 1) северо-восток города — АМСГ (ровное открытое место, аэродром); 2) северо-запад — станция Озерная (окраина небольшого поселка на берегу Днепра); 3) юго-запад — экспедиционная метеоплощадка Бабурка (заброшенная плантация винограда); 4) юго-восток — экспедиционная городская метеоплощадка Космос (обширная площадка в районе нового жилмассива). На двух последних пунктах проводились градиентные измерения. Внутри города наблюдения велись на шести стационарных и девяти маршрутных пунктах, обслуживаемых автотранспортом. Точки наблюдений в городе выбирались на улицах и перекрестках, на площадях и во дворах.

Комплекс наблюдений состоял из измерений температуры и влажности воздуха по аспирационному психрометру, который размещался поочередно на высотах 0,5 и 1,5 м в горизонтальном положении резервуарами навстречу ветру; скорости ветра на высоте 2 м ручным анемометром и температуры поверхности асфальта либо почвы на стационарных пунктах. Отмечалось также состояние диска Солнца и деятельной поверхности. На стационарных пунктах наблюдения проводились синхронно на 15-й минуте каждого часа, на маршрутных — по мере прибытия на пункт. Одна машина объезжала городские пункты за 2,5—3 ч. Общая продолжительность наблюдений — около 60 ч.

При обработке данных по температуре воздуха для маршрутных пунктов проводилась интерполяция их с тем, чтобы все данные относились к срокам с интервалом 3 ч. Интерполяция проводилась с точностью до 0,5° с учетом суточного хода температуры воздуха на ближайшей стационарной точке с примерно одинаковым расположением. Таким образом получены значения температуры воздуха для сроков 12, 15, 18, 21, 24, 0, 3, 6 и 9 ч.

При определении особенностей термического режима города немаловажную роль играет скорость ветра и ее изменения под влиянием застройки. Данные по скорости ветра, измеренной на высоте 2 м, были сгруппированы по периодам времени: светлого (9—18 ч) и темного (21—6 ч), а также по особенностям расположения пунктов наблюдений в городе. Из сопоставления данных по скорости ветра (табл. 1) следует, что за городом днем при развитом турбулентном обмене скорость ветра в набегающем потоке составляла 4 м/с, в городе она была в 1,5—2 раза меньше, а в закрытых дворах — даже в 2,5 раза. В ночное время это ослабление еще больше: скорость ветра в городе не превышала 1,5 м/с и в большинстве пунктов была близка к нулю, тогда как за пределами города она составила более 2 м/с. Таким образом, ночью в городе создавались условия застоя воздуха.

В качестве основного показателя перепада температуры воздуха в городе и его окрестностях была принята разность температуры на городском пункте и в аэропорту ( $\Delta T$ ) за один и тот же срок. Осредненные за светлое и темное время суток значения  $\Delta T$  и сгруппированные по особенностям расположения пунктов в городе (табл. 1) в среднем для этих двух периодов показывают

Таблица 1

Значения скорости ветра  $u$  и перепада температуры город—аэропорт  $\Delta T$  в городе для светлого (9—18 ч) и темного (21—6 ч) времени суток

Место в городе	$u$ м/с		$\Delta T^\circ$	
	9—18	21—6	9—18	21—6
Улицы в возвышенной части города	1,9	0,7	0,6	2,2
Улицы в пониженной части города	1,5	0,8	1,1	2,3
Дворы в возвышенной части города	1,3	0,5	0,4	1,2
Дворы в пониженной части города	0,6	0,2	1,4	1,8
Площади в пониженной части города	2,6	0,5	0,7	2,4
Самое низкое место (балка)	2,5	1,2	0,9	-0,1
п. Бабурка	3,9	2,2	—	—
п. Космос	4,3	2,3	—	—

относительно небольшие различия в температурном режиме города и его окрестностей. В течение суток значения  $\Delta T$  положительны, причем днем они не превышают  $1^\circ$ , ночью увеличиваются до 2— $2,5^\circ$ . В связи с исследованием атмосферной диффузии примесей представляют интерес более детальные изменения  $\Delta T$  со временем. В табл. 2 представлен суточный ход значений  $\Delta T_{\text{ср}}$  в целом по городу за отдельные сутки с интервалом 3 ч, а также экстремальные значения  $\Delta T$ , выбранные из разных значений по всем пунктам. Из анализа данных табл. 2 следует, что величина  $\Delta T_{\text{ср}}$  имеет хорошо выраженный суточный ход с максимумом в 3—6 ч и минимумом в 18 ч. Максимальное развитие острова тепла относится к периоду восхода Солнца, когда разность температуры город—за-

Таблица 2

Суточный ход разности температуры город—аэропорт

Даты	Характеристика	Часы							
		12	15	18	21	24	3	6	9
28—29 VIII	$\Delta T_{\text{ср}}$		0,5	-0,1	0,9	2,4	2,2	3,6	2,4
	$\Delta T_{\text{макс}}$		1,3	1,2	1,7	3,6	3,6	6,5	3,7
	$\Delta T_{\text{мин}}$		0,3	-1,5	-0,2	1,4	0,8	1,3	0,8
Число случаев			14	15	16	16	7	10	16
29—30 VIII	$\Delta T_{\text{ср}}$	1,2	0,1	-0,2	1,1	2,2	3,0	3,1	2,0
	$\Delta T_{\text{макс}}$	2,4	1,2	1,0	2,1	3,3	4,6	4,0	3,2
	$\Delta T_{\text{мин}}$	0,1	-0,8	-1,4	-0,4	0,1	1,3	2,0	0,3
Число случаев		13	16	13	1,4	14	14	16	16
30—31 VIII	$\Delta T_{\text{ср}}$	0,9	0,8	0,2	0,2	1,0	2,3		
	$\Delta T_{\text{макс}}$	2,6	2,9	0,9	1,5	2,3	3,9		
	$\Delta T_{\text{мин}}$	-0,6	-0,6	-1,9	-1,9	-0,8	0,8		
Число случаев		11	16	14	17	15	15		

город составила  $4^\circ$ . Обращает на себя внимание тот факт, что в ночное время значения  $\Delta T$  для всех городских пунктов мало отличаются друг от друга, в то время как днем и особенно в вечерние часы разброс значений  $\Delta T$  увеличивается. Таким образом, ночью в условиях застоя воздушной массы в центральной части города создается весьма однородный термический режим. Распре-

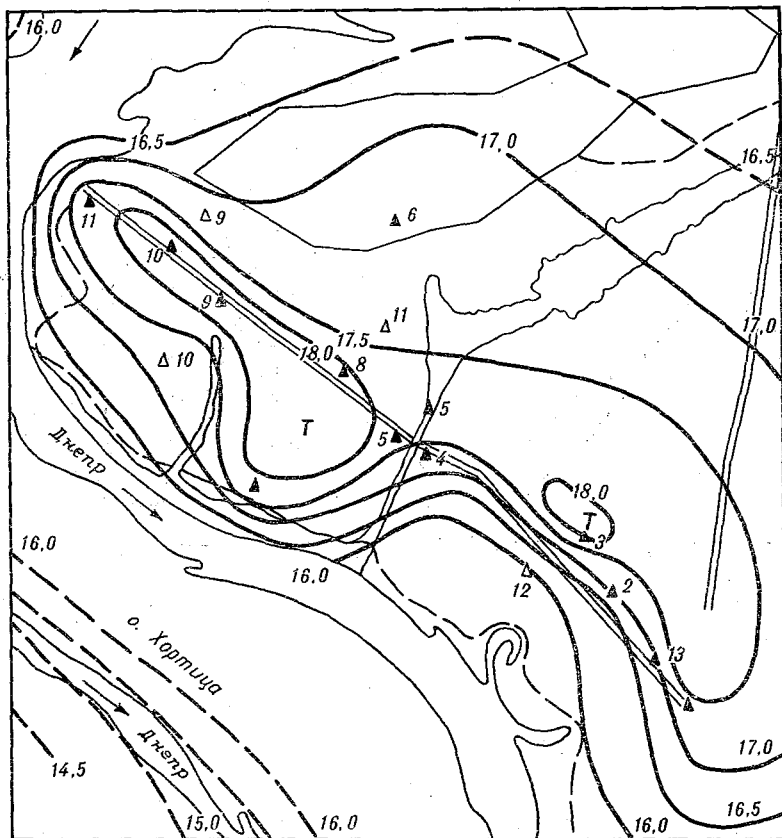


Рис. 1. Изолинии температуры воздуха в городе 29 VIII 1972 г., 3 ч.

деление температуры воздуха по территории города для срока 3 ч представлено на рис. 1, где показаны изотермы через  $0,5^\circ$ . Из рисунка видно, что остров тепла совпадает с местоположением центральной части города и имеет вытянутую форму, причем, ось его расположена вдоль главной магистрали города. Создающиеся горизонтальные градиенты температуры увеличиваются по направлению к окраинам исследуемой части города. Анализ аналогичных карт для всех часов суток показывает, что после восхода Солнца город еще значительное время остается теплее своего окружения, однако контрасты температур сглаживаются,

не превышая  $1,5^{\circ}$ , а после 15 ч для некоторых участков города становятся даже отрицательными. Интересно отметить, что наиболее холодным участком города оказывается северная, возвышенная его часть. Здесь, по-видимому, сказывается близость источников вредных примесей, обуславливающих повышенное загрязнение и ослабление притока радиации.

Сопоставление суточного хода температуры воздуха в аэропорту и в центральной части города (рис. 2) показывает, что время наступления экстремумов в городе и за городом совпадает, а значения их разные, особенно минимальных температур. Полу-

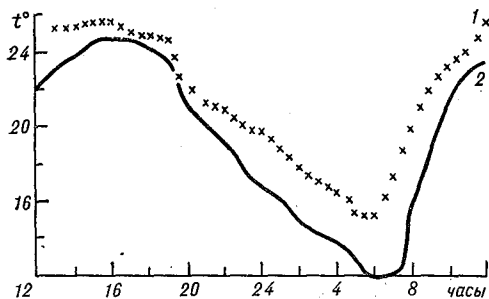


Рис. 2. Суточный ход температуры воздуха на городских пунктах (1) и в аэропорту (2).

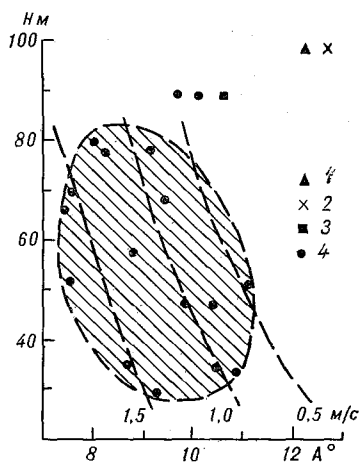


Рис. 3. Изменение суточной амплитуды воздуха  $A$  с высотой места в городе  $H$  м над ур. моря.

1 — метеоплощадка Бабурка, 2 — аэропорт, 3 — Космический район, 4 — пункты в городе.

ченные различия подтверждают известное из литературы [2, 3, 4] положение, согласно которому, минимум температуры воздуха в городе выше, чем за городом, однако, по нашим данным, запаздывания во времени его наступления не обнаружено.

Большой интерес представляет сравнение суточных амплитуд температуры воздуха в условиях города и за его пределами. Известный факт о сглаженности городских амплитуд подтверждают и наши данные; кроме того, они дают возможность получить количественные оценки. Из рис. 3, где показаны суточные амплитуды  $A$  с учетом высоты расположения пунктов наблюдений над уровнем моря, следует, что значения  $A$  в городе в 1,5—2 раза меньше, чем за городом, прежде всего из-за более высоких значений минимальных температур в городе. Суточная амплитуда понижена даже на южной окраине города — на метеоплощадке Космос. Анализ рис. 3 указывает на тенденцию увеличения суточной

амплитуды температуры воздуха в пределах города с уменьшением относительной высоты местоположения городского пункта. Видимо, последнее обстоятельство можно связывать с усилением застоя воздушной массы. Из рис. 3 видно, что суточная амплитуда скорости ветра в городе при уменьшении средней скорости ветра несколько увеличивается. Дополнительный анализ данных показывает, что это увеличение величины  $A$  происходит как за счет некоторого увеличения максимума, так и за счет уменьшения минимума.

Проведенная работа показала, что для г. Запорожье характерно наличие острова тепла, интенсивность его меняется во времени, причем наиболее определенные очертания он имеет в ночные и ранние утренние часы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянд М. Е., Кондратьев К. Я. Города и климат планеты. Л., Гидрометеониздат, 1972. 39 с.
2. Кратцер П. А. Климат и города. М., Изд. Иностран. лит., 1958, с. 82—128.
3. Полтараус Б. В. О микроклимате парков и площадей большого города.— «Вестник Моск. ун-та», 1966, № 2, с. 12—15.
4. Lowry W. P. The climate of cities.— «Scient. Amer.», 1967, v. 21, No. 2, p. 15—23.

Л. А. ДЕНЕЖКИНА, В. Ф. ЖВАЛЕВ,  
М. А. ПРОКОФЬЕВ, Л. И. ПРОКОФЬЕВА,  
Н. Е. ТЕР-МАРҚАРЯНЦ

## РЕЗУЛЬТАТЫ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ В ЭКСПЕДИЦИИ КЭНЭКС-72

Измерения интегральных радиационных потоков в экспедиции КЭНЭКС-72 проводились с борта самолета-лаборатории ИЛ-18 ГГО и в условиях специально организованных метеостанций как в городе, так и за городом. Используемые датчики и регистрирующая аппаратура подробно описаны в работах [1, 2]. Основная методика, требования и условия проведения полетов рассмотрены в [3], поэтому напомним лишь следующие положения:

— измерения выполнялись на площадках 500, 1350, 2850, 5500 и 7200 м. Трасса полета проходила с курсом  $18^\circ$  с юга на север, начиналась над полями, затем пересекала Днепр, проходила над районом заводов и заканчивалась над полями с севера от города. В дальнейшем территорию вне города для удобства изложения будем называть за городом;

— основным условием для проведения полетов была ясная, безоблачная погода, которая позволяла выполнить весь комплекс самолетных измерений, исключить влияние облачности и получить сравнимые между собой результаты за разные дни полетов;

— для характеристики суточного хода измеряемых параметров и составляющих теплового баланса выполнялись как дневные, так и ночные полеты;

— для получения одновременных значений потоков радиации на всех высотах использовалась методика проведения полетов и обработки результатов измерений, аналогичная примененной в экспедиции КЭНЭКС-71 [7].

После первичной обработки материалов было проведено осреднение радиационных потоков по всем выполненным площадкам отдельно для города и загорода, причем в качестве сравниваемой загородной площадки были выбраны поля к северу от города. В период экспедиции преобладали ветры северо-восточных направлений, поэтому над выбранным участком атмосфера в целом была

чище. Кроме того, учитывалось, что в конце площадки самолет более устойчив и приборы имеют установившийся термический режим [2].

Непосредственно перед экспедицией проводилось специальное сравнение пиранометров, использованных для наземных и самолетных измерений, причем датчики, предназначенные для измерений в наземных условиях проверялись в ЦБП. Что касается измерений длинноволновой радиации, то на земле и на самолете были использованы датчики одного типа и одной серии изготовления, проверенные перед экспедицией на чувствительность к коротковолновой радиации. Это в целом исключает возможность нестыковки данных наземных и самолетных наблюдений за счет ошибок в градуировке приборов. Исследование датчика нисходящего потока длинноволновой радиации показало, что он обладает чувствительностью к солнечному коротковолновому излучению, составляющей при нормальном падении лучей 22% его общей чувствительности. Поэтому в результаты измерений потока противоизлучения внесена поправка на этот эффект в предположении косинусности приемной поверхности.

Специфика радиационного режима города определяется изменением в городе свойств подстилающей поверхности и загрязнением нижних слоев тропосферы. Что касается подстилающей поверхности, то наиболее важное значение имеют изменения ее геометрии, тепловых и оптических характеристик (в частности — альбедо) под влиянием городской застройки. Внутри застройки, как правило, должно уменьшаться отражение радиации и, следовательно, альбедо подстилающей поверхности. Газовые и аэрозольные атмосферные загрязнения сосредоточены в основном в так называемых дымовых и газовых факелах, постепенно расширяющихся с удалением от источника выброса по направлению ветра. Кроме того, турбулентность и конвекция должны формировать нечто вроде «шапки» загрязнений, висящей над городом.

Уменьшение отражательной способности городской подстилающей поверхности должно вести к увеличению ее нагрева коротковолновой радиацией, соответствующему увеличению восходящего длинноволнового потока над городом, а также к увеличению нагрева нижних слоев тропосферы за счет длинноволнового обмена из-за перегрева подстилающей поверхности.

В то же время наличие твердых и газовых примесей в атмосфере оказывает влияние на поток солнечной радиации, достигающей подстилающей поверхности. В работе [4] обсуждается возможность снижения солнечной радиации в аэрозольном слое, что должно приводить к понижению дневной температуры подстилающей поверхности.

Таким образом оказывается, что термический режим атмосферы над городом определяется в основном двумя противодействующими факторами. Одна из задач проведенных исследований состояла в попытке определить, который из них оказывает преобладающее влияние.

Результаты проведенных наблюдений представлены в приложении. В настоящей статье при анализе использованы в основном данные измерений 21—22 VII 1972 г. (суточная серия измерений) и 29 VII 1972 г., как наиболее качественные. Эти дни отвечали как требованиям, предъявляемым к метеорологической ситуации, так и условию полноты комплекса выполняемых наблюдений. При анализе были использованы также данные наземных актиметрических наблюдений, любезно предоставленные Г. П. Расторгуевой.

Величины потоков падающей коротковолновой радиации (рис. 1) для города и загорода практически совпадают на всех высотах, т. е. до высот около 500 м город и загород получают практически одинаковое количество солнечной энергии. Только в ранние утренние часы на малых высотах (не выше 3 км) поток суммарной радиации оказывается над городом несколько меньше: на уровне 500 м в 8 ч 40 мин 22 VII 1972 г. уменьшение потока суммарной радиации составило  $0,015 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Это связано, по-видимому, с увеличением оптической толщины запыленной атмосферы над городом при малых высотах Солнца. С увеличением высоты Солнца и уменьшением оптической толщины различие между городом и загородом исчезает, что согласуется также с тем, что по данным самолетных измерений в ранние утренние часы над городом поток восходящей коротковолновой радиации оказывается больше. Такое увеличение может быть связано с двумя факторами: 1) вкладом радиации, рассеянной слоем аэрозоля при малых углах падения и большой оптической толщине и 2) эффектом отражения солнечного света от светлых стен зданий при малых высотах Солнца и малых высотах полета (т. е. при достаточных угловых размерах этих светлых поверхностей).

Градиент потока нисходящей коротковолновой радиации в нижнем трехкилометровом слое имеет практически постоянную величину. Из данных аэрозольных наблюдений [6] видно, что высотный ход концентрации аэрозольных частиц имеет резкие аномалии. По-видимому, полученный ход ослабления коротковолнового потока представляет в данном случае в значительной степени осредненную величину, которая при более подробном разрезе имела бы также ряд особенностей. Сравнение с данными предыдущих экспедиций по программе КЭНЭКС показывает, что в целом ослабление падающего потока коротковолновой радиации на высотах 1—3 км оказалось значительно более сильным. Оно превышает даже ослабление, полученное в измерениях 25 X 1970 г., когда, как показал анализ синоптических условий и данных аэрозольных измерений [5], поглощение коротковолновой радиации в тропосфере было в значительной степени обусловлено выносом частиц вверх пыльной бурей.

Такое сильное поглощение явно обусловлено влиянием города, причем не дымового шлейфа, который, как правило, оказывался в стороне от маршрута полета, а «шапки» аэрозоля, образованной над городом за счет конвекции и турбулентности. Влияние этого ослабления прослеживается во всем пограничном слое.



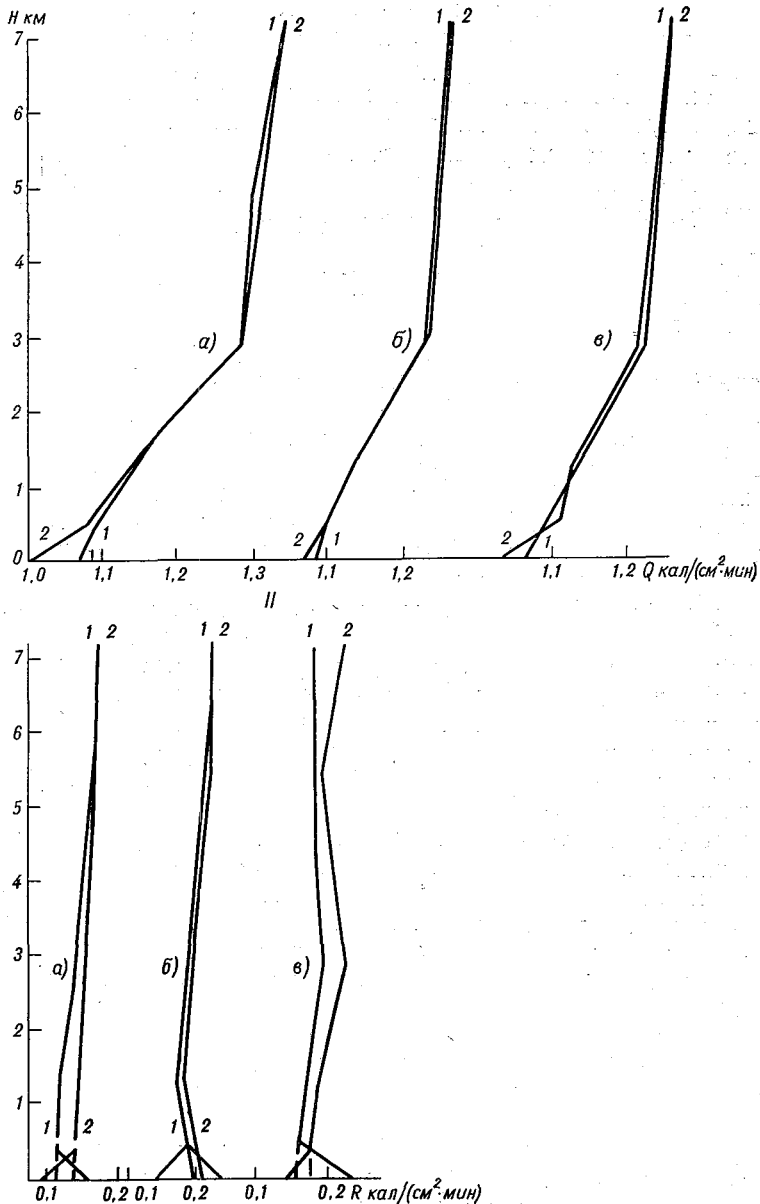


Рис. 1. Вертикальные профили потоков коротковолновой радиации над городом (1) и за городом (2) в полдень.

I — падающая (суммарная) радиация, II — восходящая радиация; а — 21 VIII 1972 г., б — 22 VIII 1972 г., в — 29 VIII 1972 г.

Что касается дымового шлейфа, то можно заметить, что загородная наземная станция Бабурка, расположенная на юго-западе города, из-за господства северо-восточных ветров в большинстве случаев оказывалась под влиянием дымового факела от города и данные, полученные на земле загородом, как правило не отвечают требованиям измерений в чистой атмосфере. Скорее, они могут характеризовать возможную степень влияния дымового факела на радиационные потоки. Это влияние можно оценить, отнеся разность величин суммарной радиации, полученных у земли в городе и загородом, к измеренной в это же время с самолета величине потока суммарной радиации на уровне 500 м, где «городские и загородные» значения потоков уже совпадают. Оказывается, что по данным наземных наблюдений уменьшение потока суммарной радиации за счет влияния дымного шлейфа составляло 5—6% от потока на высоте 500 м.

Данные измерений коротковолновых потоков в экспедиции КЭНЭКС-72 позволяют определить величину альбедо города, сравнить с альбедо окружающих территорий, оценить ход его с высотой. Эти результаты представляют самостоятельный интерес, поскольку, как указывается, например, в [4], такие данные до сих пор практически отсутствовали.

Следует заметить, что об альбедо города можно говорить лишь как о средней величине, образованной за счет вклада различных поверхностей в поток восходящего излучения. Строго говоря, следовало бы измерять отражательные свойства различных характерных для города поверхностей, а затем усреднять их. Однако в таком случае неясным остается, как учитывать веса, с которыми полученные результаты должны войти в среднюю величину, и как учитывать углы наклона этих поверхностей.

Загородная площадка, на которой размещались актинометрические датчики, представляла из себя сухую черноземную пашню. Городская площадка, как показывают материалы наземных наблюдений, была значительно светлее. Результаты самолетных измерений дали обратное соотношение (рис. 1 б). Учитывая проведенное сравнение наземных и самолетных датчиков, мы можем утверждать что за счет произвольного выбора площадок поток отраженной коротковолновой радиации у Земли оказался в городе завышенным, а загородом — заниженным. Для получения средних величин восходящих потоков у земли нужно использовать в данном случае экстраполяцию данных самолетных измерений.

Рассматривая полученные таким образом вертикальные профили потока восходящего коротковолнового излучения, видим, что у поверхности земли разница в величине отраженной радиации в городе и загородом составила 0,20 кал/(см<sup>2</sup>·мин), на высоте 500 м — ~0,10 кал/(см<sup>2</sup>·мин), а затем она быстро уменьшается, так что на высоте 7200 м величины потока восходящей радиации над городом и загородом практически одинаковы. Это связано как с геометрическим фактором — уменьшением угловых размеров наблюдаемого объекта — (города) с поднятием самолета, так и

с изменением вклада радиации, рассеянной слоем аэрозоля под большими углами. В этой связи особый интерес представляют данные об индикатрисе рассеяния аэрозоля над городом. Начиная с высоты 1350 м поток отраженной радиации растет, что обусловлено рассеянием атмосферной дымкой. Резкое увеличение потока

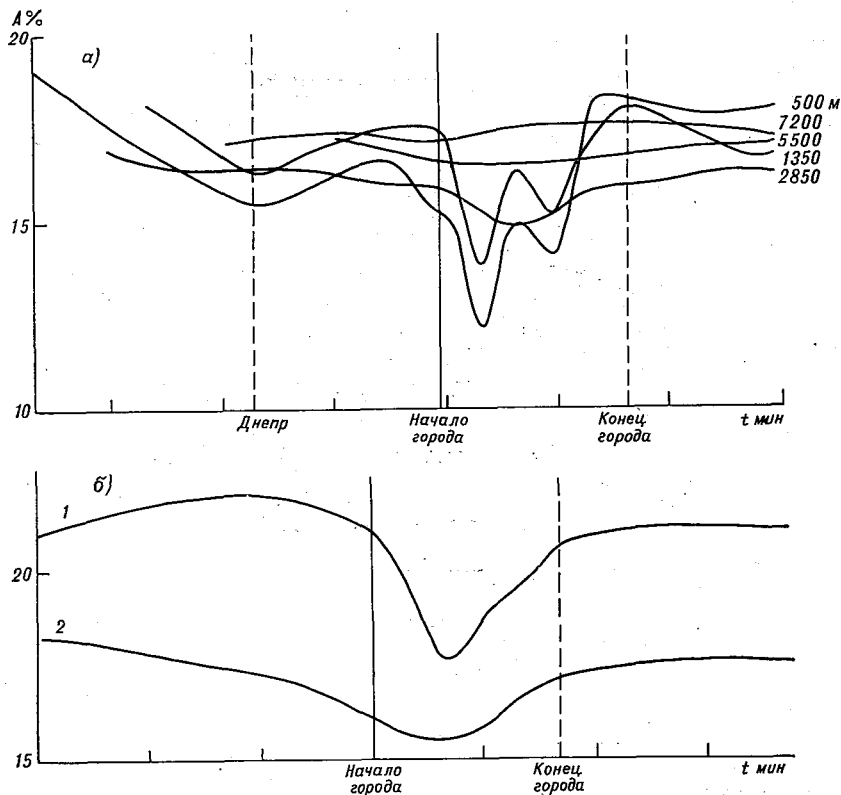


Рис. 2. Горизонтальное распределение альbedo по трассе полета самолета ИЛ-18.

*a* — измерения 21 VIII 1972 г., *б* — средние величины по всем дням измерений на высоте  $H=500$  м; 1 — средние по утренним сериям измерений, 2 — средние по полуденным сериям измерений.

восходящей коротковолновой радиации в конце измерений 29 VIII 1972 г. связано с развитием кучевой облачности.

Для анализа и выявления общих закономерностей все полученные горизонтальные распределения альbedo по трассе полета были разделены на утренние и дневные измерения (в 8, 9 ч утра и вблизи полудня соответственно). Значения альbedo по трассе полета менялись в пределах 15—25%. В утренние часы альbedo возрастает как в городе, так и за городом, что объясняется зависимостью его от высоты Солнца (рис. 2). В среднем альbedo города получилось на 3—4% меньше, чем альbedo загорода. В отдельные дни и часы наблюдений эта разница варьирует в зависимости от

погоды и пр. Например, в конце срока экспедиции (29, 30 VIII 1972 г.) отмечено резкое возрастание альbedo участков местности по трассе полета до города, что, по-видимому, связано с изменением цвета полей при уборке урожая.

Сравнивая полученную величину альbedo города с данными об ослаблении суммарной радиации под дымовым факелом, видим, что в целом приход солнечной энергии к поверхности города должен уменьшаться, что соответствует результатам наблюдений потоков восходящего длинноволнового излучения и радиационной температуры городской поверхности, именно: при уменьшении

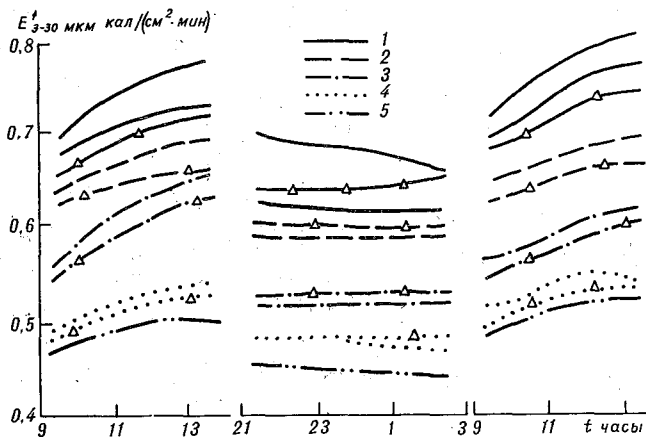


Рис. 3. Временной ход потоков восходящего длинноволнового излучения по данным суточной серии измерений 21—22 VIII 1972 г.

1)  $H=500$  м, 2)  $H=1350$  м, 3)  $H=2850$  м, 4)  $H=5500$  м, 5)  $H=7200$  м,  $\Delta$  — измерения над городом; верхние кривые соответствуют измерениям у земли.

альbedo температура поверхности города оказывается днем ниже, поток восходящего длинноволнового излучения меньше, скорость радиационного нагревания за счет длинноволнового обмена также меньше в городе, чем загородом.

Перейдем к рассмотрению профилей потоков длинноволнового излучения. Особый интерес представляет поведение над городом и загородом потоков восходящего излучения. Измерения показали, что разница между потоками над городом и загородом прослеживается днем и ночью до высоты 5500 м. Днем город имеет всегда более низкую температуру поверхности, ночью это соотношение оказывается обратным. Наибольшей разница в потоках оказывается на высоте 500 м — минимальной высоте измерений. С увеличением высоты усиливается маскирующий эффект атмосферы, так что с максимальной высоты зондирования мы не различаем город и его окрестности. Ясно, что здесь также сказывается уменьшение угловых размеров города по мере поднятия самолета. Описанные закономерности иллюстрируются рис. 3, на котором изо-

бражен временной ход потоков восходящего длинноволнового излучения по данным суточной серии измерений 21—22 VII 1972 г.

Представляет интерес сравнение данных о горизонтальном распределении потока восходящего длинноволнового излучения с данными измерений радиометром МР-1, с помощью которого измерялось горизонтальное распределение температуры в канале 8—12 мкм. На рис. 4 в качестве примера приведено горизонтальное распределение радиационной температуры поверхности, получен-

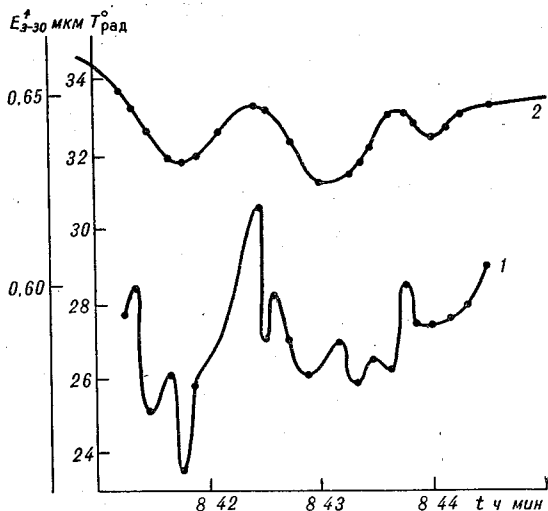


Рис. 4. Горизонтальное распределение радиационной температуры поверхности по данным измерений радиометром МР-1 в канале 8—12 мкм (1) и восходящего потока длинноволнового излучения (2) по данным РТЭ в диапазоне 3—30 мкм. 8 ч 44 мин., 21 VIII 1972 г.,  $H=500$  м.

ное по данным МР-1, и горизонтальное распределение восходящего потока длинноволнового излучения, по результатам измерений датчиком РТЭ на высоте 500 м в 8 ч 40 мин 21 VII 1972 г. По этим данным были рассчитаны коэффициенты корреляции между значениями радиационной температуры и величиной потока восходящего длинноволнового излучения. Они приведены

Таблица 1

Время, ч мин	H м			Время, ч мин	H м		
	500	1350	2850		500	1350	2850
8 45	0,81			12 40			0,91
9 10		0,97		23 37	0,32		
9 35			0,92	2 00	0,49		
11 45	0,77			8 30	0,89		
12 15		0,78		11 37	0,79		

в табл. 1. Видно, что корреляция оказалась высокой, причем снижается она в полуденные часы, что можно объяснить увеличением болтанки самолета, а также ночью, когда температурные контрасты снижаются и увеличивается влияние случайных факторов.

Рассмотрев горизонтальную и вертикальную структуру составляющих радиационного баланса атмосферы, перейдем к анализу особенностей радиационных притоков в условиях города.

До высоты 2850 м происходит суммарное нагревание атмосферы. Максимальное поглощение коротковолновой радиации происходит в нижнем 500-метровом слое, причем в городе оно выражено сильнее.

Измерения нисходящей длинноволновой радиации не обнаружили разницы в величине потоков над городом и за городом. Это связано с малым пространственным разрешением этих измерений (на город при принятом режиме измерений, который обеспечивал максимальное разрешение по восходящим потокам, приходилось всего два отсчета по нисходящему потоку). Кроме того, можно полагать, что такая разница должна быть мала, если основываться на результатах измерений горизонтального распределения температуры воздуха. По данным самолетных наблюдений температура воздуха над городом на малых высотах днем оказывалась на 0,5—1° ниже, чем над окружающими участками, ночью наблюдалось аналогичное повышение температуры.

На рис. 5 изображены радиационные притоки тепла, полученные по измерениям 21—22 VII 1972 г.

21 VII 1972 г. коротковолновые притоки во всем пограничном слое имеют четко выраженный полуденный максимум. Приток к слою 1350—2850 м в утренние часы несколько выше, чем к слою 500—1350 м, после полудня соотношение меняется. Такой временной ход можно объяснить вертикальным распределением аэрозоля, которое имеет максимум именно в слое 1,5—3 км. В полуденные часы развитие конвекции и турбулентности, по-видимому, сглаживают этот максимум, и поглощение в слое 500—1350 м становится больше, чем в соседнем. Выхолаживание за счет длинноволнового обмена в слоях до 1350 м днем сменяется нагреванием, которое быстро возрастает после полудня и становится сравнимым с нагреванием за счет поглощения коротковолновой радиации. Слабое нагревание в слое 0—500 м сохраняется и ночью, а в предутренние часы сменяется выхолаживанием. На высотах скорость ночного выхолаживания остается практически постоянной во все время измерений, а в слое 500—1350 м к концу измерений уменьшается. По измерениям 21 VII 1972 г. скорость выхолаживания за счет длинноволнового излучения слоев тропосферы выше 1350 м днем практически не меняется, т. е. влияние перегрева подстилающей поверхности с высотой быстро ослабевает.

Прослеживается разница в притоках и скоростях радиационного изменения температуры над городом и за городом. Коротковолновый приток во всем пограничном слое над городом больше, чем за городом. Эта разница особенно велика в нижнем, пай-

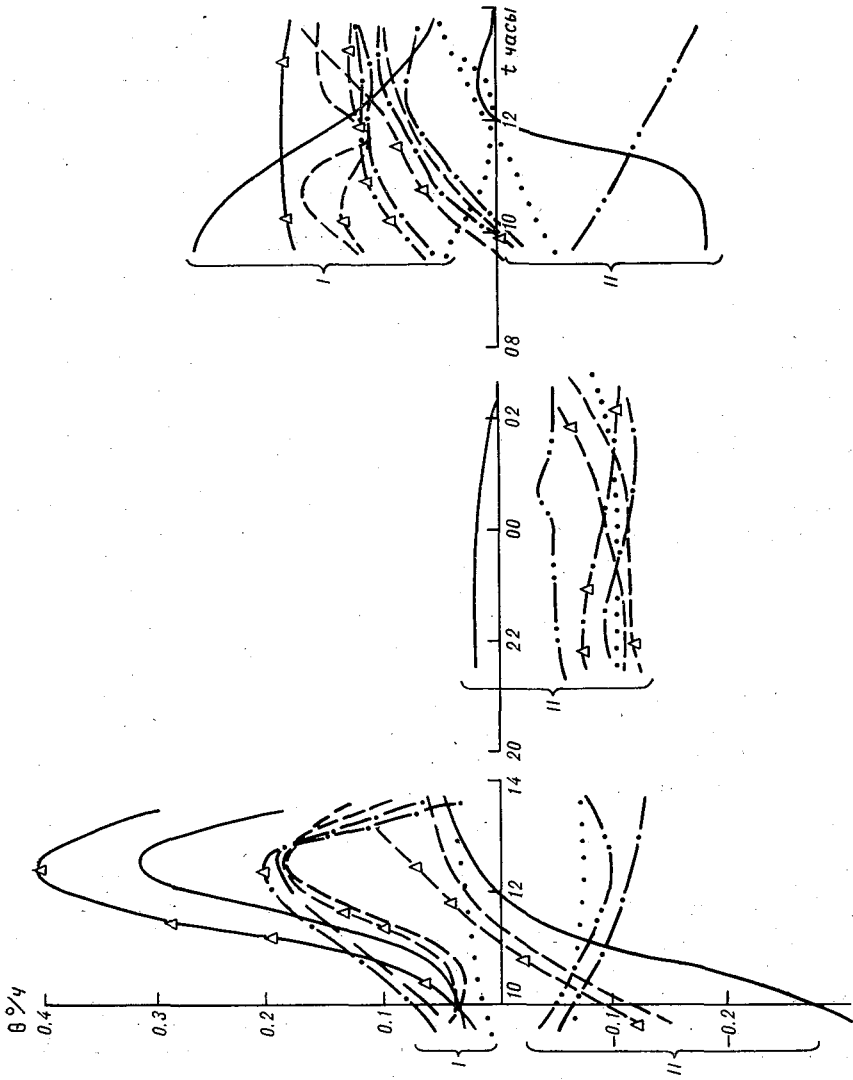


Рис. 5. Временной ход радиационных изменений температуры по слоям в тропосфере 21—22 VIII 1972 г.

1) 0—500 м; 2) 500—1350 м;  
 3) 1350—2850 м; 4) 2850—  
 3500 м; 5) 5500—7200 м; /—  
 коротковолновый баланс; II—  
 длинноволновый; Δ — изме-  
 рения над городом; уст. — об-  
 значения /—3 см. рис. 3.

более запыленном слое атмосферы. Здесь разница в притоках в полуденные часы достигает  $0,03 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Радиационный приток тепла над городом за счет длинноволнового обмена раньше меняет знак и достигает больших положительных величин. Иначе говоря, несмотря на уменьшение восходящего потока длинноволнового излучения над городом, поглощение этой энергии запыленной городской атмосферой происходит более интенсивно.

22 VII 1972 г. изменчивость скоростей радиационного изменения температур за счет поглощения коротковолновой радиации в нижних слоях атмосферы мала. В слое  $0-500 \text{ м}$  за городом происходит резкое уменьшение притока со временем, что связано с влиянием дымового шлейфа, уменьшающего приход суммарной радиации к поверхности. Уменьшается в середине дня приток к слою  $2850-5500 \text{ м}$ .

Скорости радиационного выхолаживания за счет длинноволнового излучения на всех уровнях в утренние часы уменьшены по сравнению с предыдущим днем, а радиационное нагревание распространяется до больших высот, и во второй половине дня прослеживается даже на уровне  $5500 \text{ м}$ . В то же время нагревание в слое  $0-500 \text{ м}$  ослаблено, а в конце срока радиационное изменение температуры в нем за счет длинноволнового обмена равно нулю. Выхолаживание в слое  $5500-7200 \text{ м}$  заметно возрастает. Сравнение с данными самолетных аэрозольных наблюдений и наземных наблюдений прямой солнечной радиации показывает, что 22 VII 1972 г. произошло помутнение атмосферы, а концентрация аэрозольных частиц увеличилась практически на всех уровнях наблюдений. Прозрачность атмосферы может быть получена из наблюдений прямой солнечной радиации по формуле

$$\lg T = (\lg S - \lg S_0)/m, \quad (1)$$

где  $T$  — вертикальная прозрачность атмосферы,  $S$  — прямая солнечная радиация у земной поверхности,  $S_0$  — солнечная постоянная,  $m$  — масса атмосферы. Оказывается, что 21 VII 1972 г.  $T = 0,618$ , а 22 VII 1972 г.  $T = 0,606$ .

Таким образом, по результатам самолетных актинометрических наблюдений в свободной атмосфере в экспедиции КЭНЭКС-72 могут быть сделаны следующие выводы:

— влияние города и связанного с ним загрязнения атмосферы на интегральные потоки радиации прослеживается во всем пограничном слое атмосферы;

— изменение геометрии подстилающей поверхности и наличие загрязнений в атмосфере снижает альбедо городской поверхности на  $3-4\%$  по сравнению с окружающими участками;

— радиационный эффект аэрозольных загрязнений городской атмосферы носит двойной характер: во-первых, наличие аэрозоля уменьшает приход суммарной радиации к поверхности, причем это уменьшение может достигать  $5-6\%$  от приходящего на границу тропосферы потока; во-вторых, слой аэрозоля вызывает изме-



нение структуры длинноволнового обмена. Он задерживает часть восходящего длинноволнового излучения и поглощает коротковолновую радиацию, вызывая дополнительное нагревание слоя. Вблизи верхней границы слоя происходит интенсивное радиационное выхолаживание. Таким образом, слой аэрозоля в радиационном смысле может быть уподоблен облаку;

— за счет уменьшения прихода суммарной радиации к поверхности города коротковолновый радиационный приток тепла к поверхности уменьшается и город днем оказывается холоднее окружающей территории, что выражается в уменьшении потока восходящего длинноволнового излучения над городом. Ночью эффект оказывается обратным за счет наличия в городе дополнительных источников тепла, замедленного охлаждения городской территории и влияния атмосферных загрязнений;

— при уменьшении загрязненности атмосферы возрастает перегрев подстилающей поверхности и нагревание за счет длинноволнового излучения в нижних слоях тропосферы в околополуденные часы увеличивается. При высокой запыленности радиационное нагревание в нижних слоях ослабляется, однако распространяется до больших высот, захватывая всю нижнюю и среднюю тропосферу до высот около 5 км.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев Б. П. Высокочувствительный неселективный пиранометр с черной приемной поверхностью и ксеноновым наполнением.— В кн.: Актинометрия и оптика атмосферы. Таллин, «Валгус», 1968, с. 170—177.
2. Прокофьев М. А., Тер-Маркарянц Н. Е. Актинометрические измерения в свободной атмосфере в экспедиции КЭНЭКС-70.— «Тр. ГГО», 1972, вып. 276, с. 43—61.
3. Берлянд М. Е. и др. Задачи и программа эксперимента КЭНЭКС-72.— См. наст. сборник.
4. Берлянд М. Е., Кондратьев К. Я. Города и климат планеты. 1972, Л., Гидрометеиздат, 39 с.
5. Kondratyev K. Ja. et al. Spectral radiative flux divergences in troposphere in the 0,4—2,4  $\mu\text{m}$  region. Snt. Radiation Symp., Sendai, Japan, 1972.
6. Дмоховский В. И., Иванов В. А., Ивлев Л. С. Вертикальная структура аэрозоля в районе индустриального центра Запорожье.— См. наст. сборник.
7. Елисеев А. А. и др. Профили радиационных потоков по материалам наблюдений.— «Тр. ГГО», 1973, вып. 296, с. 31—37.

Результаты актинометрических наблюдений в экспедициях КЭНЭС-72. г. Запорожье

Дата	t, Моск. ч мин	H м	Район полета	$h_{\odot}^{\circ}$	Метеоусловия	Q	10 <sup>-3</sup> кал/(см <sup>2</sup> ·мин)		
							R	E <sup>↑</sup>	E <sup>↓</sup>
2 VIII 1972 г.	6 24—6 35	500	Г 3	17,1	1 Сi выше	189	71	559	410
	6 54—7 03	1350	Г 3	21,9	То же	322	90	550	320
	7 21—7 30	2850	Г 3	26,0	"	534	105	525	280
	7 48—7 55	5500	Г 3	30,2	"	692	139	510	180
	8 13—8 18	7200	Г 3	34,4	2 Сi выше	831	165	380	130
	7 20	0	Г 3	23,7	1 Сi выше		192	365	
	8 25—8 30	500	Г 3	34,5	1 Ас выше	645	146	601	541
	8 50—8 54	1350	Г 3	38,7	1 Сi выше		115	620	505
	9 08	0	Г 3	40,7	3 Ас выше	831	150	590	425
	9 16—9 22	2850	Г 3	42,3	1 Сi выше		135	600	
10 VIII 1972 г.	10 18—10 23	2850	Г 3	50,2	1 Сi, 3 Ас выше			593	530
	10 40—10 43	5500	Г 3	52,6	1 Сi выше	1100	160	545	330
	11 01—11 04	7200	Г 3	54,6	4 Ас выше		140	560	
	11 07	0	Г 3	54,9	1 Сi выше			560	480
	11 36—11 41	500	Г 3	56,4	3—4 Ас выше			575	
	9 10	0	Г 3	40,5	1 Сi выше	1385	155	450	370
	10 37—10 41	7200	Г 3	51,5	1 Ас ниже	1473	232	440	300
					1 Сi ниже			664	638
					1 Сi выше	1040	150	710	660
					6 Ас, Сi	750	150	681	631
14 VIII 1972 г.	9 10	0	Г 3	40,5	4 Сi, Ас выше		90		
	10 37—10 41	7200	Г 3	51,5	1 Сi выше	1386	116	440	270

Дата	t моск. ч мин	H м	Район полета	$h_{\odot}^{\circ}$	Метеоусловия	Q	10 <sup>-3</sup> кал/(см <sup>2</sup> ·мин)		
							R	E <sup>↑</sup>	E <sup>↓</sup>
	11 02—11 06	5500	Г 3	53,5	1 Ci, Ac	1360	153	481	345
	11 09	0	Г 3	53,7	1 Ci, 1 Ac		161	495	—
	11 34—11 40	2850	Г 3	55,1	1 Ci	1310	144	721	674
	11 55—11 59	1350	Г 3	56,4	1 Ac, Cu выше	1233	154	539	475
	12 17—12 29	500	Г 3	55,6	1 Ac, Cu	1220	132	636	555
	12 47—12 50	1350	Г 3	54,6	1 Ac, Cu выше	1280	141	646	618
	13 15	0	Г 3	54,1	1 Cu		184	673	618
	13 10—13 16	2850	Г 3	54,2	1 Cu выше		200	681	564
	13 44—13 49	5500	Г 3	53,8	2 Cu выше	1350	185	615	564
	14 06—14 10	7200	Г 3	47,4	1 Ci выше		211	632	677
	15 14	0	Г 3	40,5	2 Ci выше			767	677
	07 00	0	Г 3	18,6	2 Cu выше	1350	193	534	500
	8 37—8 45	500	Г 3	34,8	1 Ci выше	1428	212	561	404
	9 03—9 11	1350	Г 3	38,9	1 Ci, 3 Cu ниже	1460	229	486	404
	9 12	0	Г 3	38,9	1 Ci, 3 Cu ниже		193	496	325
	9 30—9 37	2850	Г 3	42,2	3 Cu ниже		215	443	325
21 VIII 1972 г.					3 Cu выше	390	90	772	649
					ясно	624	108	—	—
					"	745	129	638	460
					"	700	139	660	420
					"	—	151	624	420
					"	910	260	629	—
					"		—	678	595
					"		156	552	330
					"		169	564	330



Дата	t моск. ч мин	H м	Район полета	$h_{\odot}$	Метеословия	Q	R	10 <sup>-3</sup> кал/(см <sup>2</sup> ·мин)	
								E <sup>↓</sup>	E <sup>↑</sup>
	00 28—00 34	2850	Г 3		ясно			525	340
	01 05	0	3		"			520	563
	01 05—01 07	5500	3		"			676	200
	01 24—01 29	7200			"			480	150
	02 00—02 04	500	Г 3		"			440	530
	7 10	0	Г 3	19,9	"	180	60	644	621
	8 47—8 56	500	Г 3	36,3	"	200	30	653	500
	9 06	0	Г 3	38,5	"	685	126	668	445
	9 22—9 29	1350	Г 3	41,0	"	610	140	670	—
	9 45—9 50	2850	Г 3	44,0	"	640	140	—	510
	10 14—10 18	5500	Г 3	47,3	"	820	130	684	370
	10 41—10 46	7200	Г 3	50,1	"	970	152	640	400
	11 35—11 44	500	Г 3	53,3	"	1101	180	541	320
	12 06—12 07	1350	Г 3	53,9	"	1175	194	564	260
	12 23—12 29	2850	Г 3	53,1	"	1090	202	500	240
	12 51—12 56	5500	Г 3	52,0	"	1150	220	510	463
	13 06	0	3	51,3	"	186	176	706	435
	13 16—13 20	7200	3	50,2	"	194	185	722	415
					"	1245	205	679	395
					"	1265	216	600	530
					"	1070	220	532	335
					"		140	545	
					"			790	
					"			525	

Дата	t Моск. ч мин	Н м	Район полега	h <sub>0</sub> °	Метеоусловия	Q	10 <sup>-3</sup> кал/(см <sup>2</sup> ·мин)			
							R	E <sup>↓</sup>	E <sup>↑</sup>	
29 VIII 1972 г.	7 00	0	г		ясно	170	20			
	7 25—7 35	500	г		"	324	72	560	231	
	7 52—7 59	1350	з		"	466	67	570	231	
	8 15—8 22	2850	г		"	622	109	532		
	8 40—8 44	5500	з		"	739	104	536		
	9 02—9 06	7200	г		"	846	145	492	176	
	9 60	0	з		"	650	147	500		
	11 40—11 49	500	г		"	1068	164	421	188	
	12 06—12 13	1350	г		"	1139	160	438	110	
	12 28—12 35	2850	з		"	1232	185	445		
	12 53—12 57	5500	г		"	1268	179	450		
	13 15—13 17	7200	з		"	1272	140			
	13 06	0	з		"	1100	90			
							159	624		464
							178	650		
							176	577		466
						191	600			
						202	530		435	
						230	540			
						194	477		337	
						201	494			
						187	463		250	
						232	459			
						230				
						150				

Примечание. Q — нисходящая и R — восходящая коротковолновая радиация, F<sup>↓</sup> нисходящая и F<sup>↑</sup> — восходящая длинноволновая радиация; г — город, з — загород.

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАЗЕМНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Целью данной работы является оценка возможности использования спектральных актинометрических наблюдений для оценки мутности атмосферы в условиях большого промышленного города. Здесь излагаются результаты предварительной обработки полученных данных, а также некоторые результаты измерения мутности с помощью фотометра Фольца.

Наблюдения были организованы на четырех стационарных пунктах, три из которых находились в различных районах города Запорожье (пункт № 12 — рынок, пункт № 11 — ул. Седова и метеоплощадка в Космическом микрорайоне), а четвертый был расположен за городом на метеоплощадке Бабурка. Этот четвертый пункт предполагалось использовать для определения фоновой (внегородской) мутности атмосферы. Однако при господствующих в период экспедиции северных и северо-восточных ветрах он постоянно попадал под дымовой факел от промышленных предприятий промплощадки, так что наблюдения на этом пункте можно считать подфакельными. В то же время расположенный на окраине Космический микрорайон оказался районом города с наименьшим загрязнением воздуха (это подтверждается как результатами прямых измерений концентраций примесей, так и данными о мутности атмосферы).

На перечисленных четырех пунктах были организованы ежечасные измерения (с 9 до 15 ч в условиях ясной погоды) с помощью актинометров АТ-50 со стеклянными фильтрами БС-8, ЖС-16, ОС-11, КС-13, КС-19 с коротковолновыми границами 0,38; 0,47; 0,53; 0,63 и 0,71 мкм соответственно. Кроме постоянных наблюдений, проводимых на стационарных пунктах, совместно с группой Л. С. Дайгот (УкрНИГМИ) были организованы подфакельные маршрутные измерения. В дни, когда проводились эти измерения, с наветренной стороны города выбиралась стационарная точка, работа на которой велась синхронно с наблюдениями на подфакельном маршруте. Помимо перечисленных актинометрических наблюдений на метеоплощадках в Космическом

микрорайоне и в Бабурке были организованы параллельные измерения мутности атмосферы с помощью солнечных фотометров Фольца. Всего за период экспедиции было проведено около 2,5 тысяч спектральных измерений.

Для первоначальной оценки полученных результатов использовались данные за 5 ясных дней (14, 15, 21, 22, 23 VIII), когда работал весь комплекс спектральных актинометрических наблюдений. За эти дни были рассчитаны отношения интенсивностей интегральных и спектральных потоков радиации для городских стационарных пунктов, а также для метеоплощадки Бабурка, к соответствующим интенсивностям на контрольных пунктах, выбранных с наветренной стороны города (14 и 15 VIII — хут. Богатырский, 21—23 VIII — хут. Скворцово).

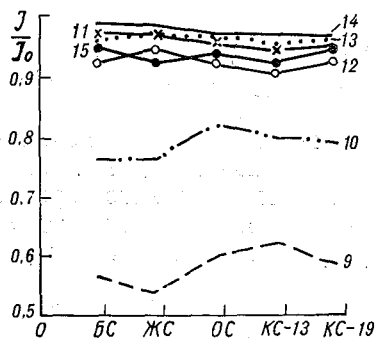


Рис. 1. Изменение  $\frac{J}{J_0}$  на спектральном интервале 0,38—0,71 мкм при разном удалении от факела.

загородной точкой достигает весьма существенных значений и влияние городского факела на приход солнечной радиации оказывается весьма заметным.

Для оценки характера ослабления радиации в интересующей нас области спектра городским факелом были использованы отношения интенсивностей радиации  $J$ , измеренных с определенным светофильтром на подфакельных маршрутных пунктах наблюдений, к интенсивностям радиации  $J_0$  при измерении с соответствующим фильтром на стационарной контрольной загородной точке.

На рис. 1 приведена зависимость отношения  $\frac{J}{J_0}$  от марки фильтра или, что то же самое, от спектрального интервала, в котором измеряется прямая солнечная радиация 21 VIII. Различные кривые соответствуют разным срокам наблюдения и, следовательно, разному удалению пункта наблюдения от основных источников промышленных выбросов (цифры около кривых означают время наблюдения). Как видно из этого рисунка, отношение  $\frac{J}{J_0}$  практически не зависит от спектрального интервала (это обстоятельство подтверждается измерениями за другие дни).

расчетов показали, что особых различий в условиях замутнения атмосферы в городе и загородом не наблюдается. Уменьшение интегральной радиации в городе по сравнению с ее значением за городом составляло обычно не более 5%, причем в течение дня отношения интенсивностей почти не меняются. Однако подобные результаты имели место лишь при условии, что исследуемые районы не попадают под дымовой факел. В противном случае различие в ослаблении радиации по сравнению с контрольной



Таким образом, результаты маршрутных наблюдений позволяют сделать вывод, что в исследуемом участке спектра ослабление радиации факелом в первом приближении можно считать нейтральным. Следовательно, отношение  $\frac{J}{J_0}$  фактически определяет коэффициент прозрачности дымового факела. Эта величина в период подфакельных наблюдений менялась от 0,40 до 0,99.

Оптические толщины дымового факела, рассчитанные по формуле

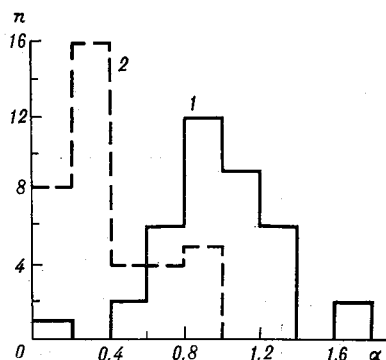
$$\tau = -\frac{1}{m} \ln \frac{J}{J_0}, \quad (1)$$

изменялись от 0,42 до 0,02.

Статистический анализ материалов наблюдений с помощью фотометра Фольца также подтверждает вывод о нейтральности ослабления дымовым факелом. Как известно [2, 3], измерения фотометром Фольца позволяют определить параметры  $B_{0,5}$  и  $\alpha$  в аппроксимационной формуле для зависимости десятичной оптической толщины аэрозоля от длины волны

$$\tau_{10}(\lambda) = B_{0,5} \cdot (2\lambda)^{-\alpha}. \quad (2)$$

Рис. 2. Распределение показателя  $\alpha$  вне зоны действия факела (Космический район) (1) и в зоне действия факела (Бабурка) (2).



Величина  $B_{0,5}$  обычно называется десятичным коэффициентом мутности Шюппа, а параметр  $\alpha$  характеризует распределение по размерам рассеивающих радиацию частиц.

Из гистограммы на рис. 2 видно, что величины показателя степени  $\alpha$  в формуле (2), рассчитанные на основании данных измерений по фотометру Фольца на метеоплощадке Бабурка сдвинуты в область малых значений. В большинстве случаев ослабление радиации на этой площадке было близко к нейтральному (наиболее вероятным значением  $\alpha$  является 0,3). В Космическом микрорайоне, где воздух сравнительно мало загрязнен, наиболее вероятным является значение  $\alpha$ , равное 0,9.

Сделанный выше вывод подтверждается также данными о суточном ходе  $\alpha$ , приведенными на рис. 3. Как видно из этого рисунка, изменения  $\alpha$  в суточном ходе невелики. Однако значения  $\alpha$  для Космического района существенно превышают соответствующие значения для метеоплощадки Бабурка. Из рис. 4 следует, что различия в суточном ходе коэффициентов мутности  $B_{0,5}$  для указанных пунктов малы, хотя в подфакельной точке в исследованный период времени атмосфера была замутнена несколько

больше. Отсюда можно заключить, что основное отличие наблюдений в пункте под дымовым факелом (Бабурка) и в пункте, находящемся в районе с относительно чистым воздухом, связано не со значениями параметра мутности  $B_{0,5}$ , а с различием в характере распределения частиц аэрозоля по размерам.

В предлагаемой статье приведены первые результаты наземных спектральных наблюдений. В дальнейшем предполагается

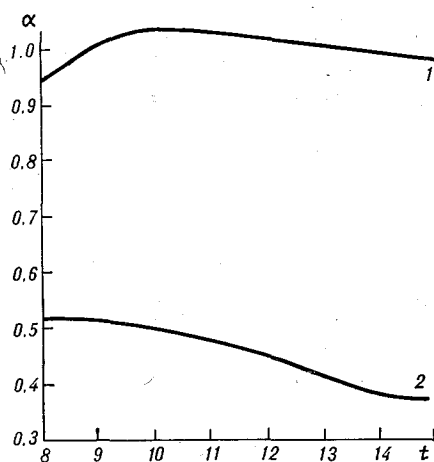


Рис. 3. Суточный ход  $\alpha$ .

1 — Космический район, 2 — Бабурка.

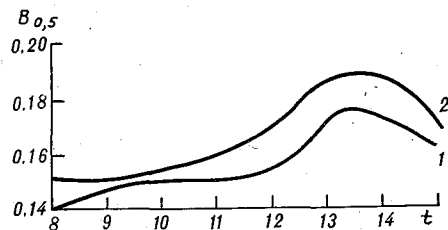


Рис. 4. Суточный ход  $B_{0,5}$ .

1 — Космический район, 2 — метеоплощадка Бабурка.

рассмотреть более детальные характеристики аэрозольного ослабления, используя методику, изложенную в работе [1]. Полученные данные позволяют сделать вывод, что при проведении наземных спектральных актинометрических наблюдений в экспедиционных условиях необходимо вести маршрутные подфакельные наблюдения параллельно с работой стационарных пунктов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генихович Е. Л., Русина Е. Н. Оценка аэрозольного ослабления по данным актинометрических наблюдений с фильтрами. — «Тр. ГГО», 1973, вып. 293, с. 105—110.
2. Flowers E. C., McCormick R. A. and Kurfis K. R. Atmospheric Turbidity over the United States 1961—1966. — “J. of Applied Meteorology”, 1969, v. 8, No. 6, p. 955—962.
3. Volz F. Photometer mit Selen-Photoelement zur spektralen Messung der Sonnenstrahlung und zur Bestimmung der Wellenlängenabhängigkeit der Dunsttrübung. — “Arch. Meteor. Geophys. Bioklim.”, 1959, B. 10, S. 100—131.

К. Я. КОНДРАТЬЕВ, Ю. И. РАБИНОВИЧ,  
А. И. РЕШЕТНИКОВ

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ САМОЛЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ В ДИАПАЗОНЕ 1,6—5 мкм

В настоящей работе приведены некоторые результаты измерений спектральной прозрачности атмосферы с самолета с помощью инфракрасного спектрометра [1], полученные над районом г. Запорожье в августе 1972 г.

Измерения проводились на высотах 500, 1350, 2850 и 5500 м. Для определения внеатмосферных относительных значений спектральной солнечной постоянной выполнен один полет на высоте 8400 м.

Целью настоящих измерений было определить влияние крупного промышленного центра на спектральную прозрачность атмосферы.

Поскольку, как известно, продуктами промышленной деятельности является, с одной стороны, увеличение загрязнения воздуха твердыми частицами, а с другой — повышение концентрации некоторых газов, в настоящей работе было уделено внимание исследованию влияния этих факторов на изменение спектральной прозрачности. Прибор позволяет записывать спектр пропускания атмосферы от 1,60 до 8,4 мкм в течение 30—40 с при использовании в качестве дисперсионного элемента призмы NaCl, среднее разрешение при этом в случае постоянной геометрической ширины щели изменяется от  $80 \text{ см}^{-1}$  в коротковолновом конце спектра до  $15 \text{ см}^{-1}$  в длинноволновом.

В этом участке спектра 1,60—8,4 мкм находится  $\nu_3$  — фундаментальная полоса  $\text{N}_2\text{O}$  основного изотопа  $\text{N}_2^{14}\text{O}^{16}$  с центром у  $\nu = 2224 \text{ см}^{-1}$  ( $\lambda = 4,5 \text{ мкм}$ ), рядом с ней — фундаментальная полоса CO с центром у  $\nu = 2143 \text{ см}^{-1}$  ( $\lambda = 4,67 \text{ мкм}$ ), причем последняя в значительной степени перекрыта R-ветвью полосы  $\text{N}_2\text{O}$ . Обе эти полосы ограничены очень сильными полосами поглощения  $\text{CO}_2$  с центром у  $\nu = 2350 \text{ см}^{-1}$  ( $\lambda = 4,3 \text{ мкм}$ ) и  $\text{H}_2\text{O}$  с центром у  $\nu = 1590 \text{ см}^{-1}$  ( $\lambda = 6,3 \text{ мкм}$ ).

В коротковолновом участке спектра находится обертоновая полоса СО с центром у  $\nu = 4260 \text{ см}^{-1}$  ( $\lambda = 2,35 \text{ мкм}$ ), а также фундаментальная полоса  $\nu_3\text{—CH}_4$  с центром у  $3030 \text{ см}^{-1}$  ( $\lambda = 3,31 \text{ мкм}$ ).

Поскольку СО является основной загрязняющей газовой компонентой, возникающей за счет деятельности человека, да к тому же и сильно токсичной, представляет большой интерес исследование содержания этого газа в атмосфере над крупным промышленным центром.

Для определения неселективного ослабления в исследуемом спектральном диапазоне были выбраны длины волн, свободные от сплошных линий поглощения атмосферных газов; 1,67; 2,17; 3,52 и 4,00 мкм.

В этом случае с известной степенью точности можно применить формулу

$$F_{\nu} = F_0 e^{-\int_h^{\infty} (k_{\nu}^a + k_{\nu}^c) \sec \theta dh}, \quad (1)$$

где  $k_{\nu}^a$  — коэффициент аэрозольного ослабления;  $k_{\nu}^c$  — коэффициент селективного ослабления;  $h$  — высота, с которой проводятся измерения (причем мы считаем, что при реальных количествах поглощающих газов в атмосфере изменения величины  $\ln F_{\nu}$  при изменении  $\sec \theta$  и  $h$  происходят линейно).

Для трех полетов 22, 23 и 29 VIII нами рассчитаны функции пропускания  $T_{\nu}$  и оптические толщины  $D_{\nu}$  для разных высот полета. Поскольку селективное поглощение для указанных длин волн мало (т. е. можно считать, что интенсивности линий в интервале  $\Delta_{\nu}$  малы), то очевидно, что для единичной атмосферной массы  $M_h$  функция пропускания будет иметь вид

$$T_{\nu} = \text{ant} \ln \frac{F_{\nu}}{F_{0\nu} \sec \theta}, \quad (2)$$

а оптическая плотность —

$$\tau_{\nu} = \ln \frac{F_{0\nu}}{F_{\nu} \sec \theta} = \int_h^{\infty} (k_{\nu}^a + k_{\nu}^c) dh. \quad (3)$$

Значения  $T_{\nu}$  и  $\tau_{\nu}$ , полученные в трех полетах, приведены в табл. 1. Следует отметить достаточно высокие оптические толщины для всех четырех длин волн, особенно при измерениях с высот 500 и 1350 м. Очевидно, что такое значительное ослабление вряд ли может быть отнесено только за счет присутствия в указанных спектральных интервалах линий поглощения водяного пара, поскольку количество водяного пара, выраженное в мм осажденной воды, не столь велико (табл. 2).

Кроме того, функция пропускания, обусловленная поглощением молекулами водяного пара, для этих длин волн, согласно данным [2, 3], близка к единице.

Таблица 1

Н М	λ МКМ	22 VIII				23 VIII				29 VIII				
		над городом		вне города		над городом		вне города		над городом		вне города		
		$T_{H-\infty}$	$\tau_{H-\infty}$	$T_{H-\infty}$	$\tau_{H-\infty}$	$T_{H-\infty}$	$\tau_{H-\infty}$	$T_{H-\infty}$	$\tau_{H-\infty}$	$T_{H-\infty}$	$\tau_{H-\infty}$	$T_{H-\infty}$	$\tau_{H-\infty}$	
		$T$												
500	1,67	0,97	0,68	0,38	0,74	0,30	0,66	0,42	0,74	0,30	0,65	0,43	0,67	0,40
	2,17	0,99	0,72	0,32	0,76	0,27	0,71	0,34	0,75	0,29	0,70	0,36	0,74	0,30
	3,52	0,95	0,73	0,31	0,77	0,26	0,74	0,30	0,76	0,27	0,74	0,30	0,77	0,26
	4,00	1	0,75	0,29	0,81	0,21	0,74	0,30	0,77	0,26	0,77	0,26	0,80	0,22
1350	1,07	0,99	0,85	0,16	0,88	0,13	0,85	0,16	0,87	0,14	0,83	0,18	0,83	0,18
	2,17	1	0,88	0,13	0,90	0,10	0,87	0,14	0,88	0,13	0,87	0,14	0,87	0,14
	3,52	0,98	0,89	0,12	0,90	0,10	0,88	0,13	0,89	0,12	0,90	0,11	0,90	0,11
	4,00	1	0,91	0,10	0,91	0,09	0,90	0,10	0,90	0,10	0,93	0,07	0,93	0,07
2650	1,67	1	0,95	0,05	0,95	0,05	0,96	0,04	0,95	0,05	0,97	0,03	0,96	0,04
	2,17	1	0,97	0,03	0,97	0,03	0,96	0,04	0,96	0,04	0,97	0,03	0,97	0,03
	3,52	0,99	0,98	0,02	0,98	0,02	0,98	0,02	0,98	0,02	0,98	0,02	0,98	0,02
	4,00	1	0,99	0,01	0,99	0,01	0,98	0,02	0,98	0,02	0,99	0,01	0,99	0,02
5500	1,67	1	0,99	0,01	0,99	0,01	0,98	0,02	0,98	0,02	1	1	1	0
	2,17	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
	3,52	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
	4,00	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

Таблица 2

H м	22 VIII				29 VIII	
	w см	$\int_h^{\infty} A_{\nu} d\nu$ [см <sup>-1</sup> ]		w мм	$\int_h^{\infty} A_{\nu} d\nu$ [см <sup>-1</sup> ]	
		расчет	эксперимент		расчет	эксперимент
500	0,34	580	640 (1,27)	0,24	500	590
1000	0,55	550	—	—	530	—
1350	—	—	440 (1,26)	0,47	—	380
2000	0,44	500	—	0,33	480	—
2850	—	—	330 (1,24)	—	—	320
3000	0,45	450	—	0,16	400	—
4000	0,103	310	—	0,14	330	—
5000	0,082	250	—	—	—	—
5500	—	—	95 (1,22)	—	220	170
6000	—	—	—	—	—	—
7000	0,013	90	—	0,243	—	—
7200	—	—	—	—	—	—
8000	—	—	—	0,02	110	—
9000	0,006	25	—	0,02	—	—

Данные табл. 1 не показывают значительных колебаний оптической прозрачности атмосферы при измерениях непосредственно над промышленным центром и вне его, что, очевидно, связано со значительной близостью выбранного загородного района (10—25 км) к промышленному центру города. Тем не менее во всех трех случаях на высотах 500 и 1350 м оптическая прозрачность  $T_{\nu}$  над городом на 5—10% ниже оптической прозрачности вне его. Начиная с высоты 2850 м оптическая прозрачность над городом и вне его практически одна и та же и соответствует метеорологической дальности видимости  $\geq 10$  км для данной высоты.

Результаты расчета интегрального поглощения полосой водяного пара с центром у  $\lambda=1,87$  мкм по данным радиозондирования, приведенные в табл. 2, показывают достаточное соответствие экспериментальных и расчетных данных. Этот расчет производился на основе формул Говарда для однородного столба атмосферы, преобразованных Шоу для случая неоднородной изотермической атмосферы. Эти формулы имеют вид:

$$\int A_{\nu} d\nu = 1g \int_h^{\infty} p^{0,62} d\tau + 127 \quad \text{для} \quad \int A_{\nu} d\nu > 275 \text{ см}^{-1}, \quad (4)$$

$$\int A_{\nu} d\nu = 152 \left[ \int_h^{\infty} p^{0,62} d\tau \right]^{0,5} \quad \text{для} \quad \int A_{\nu} d\nu < 275 \text{ см}^{-1}. \quad (5)$$

Произведение  $\omega p^a \sim$  принято называть эффективным количеством водяного пара (или какого-либо другого газа, поглощение которым рассматривается). Экспериментальные значения  $\int A, dv$  также приведены в табл. 2.

Количество осажденной воды  $\omega$  в сантиметрах рассчитывалось для слоев, по которым имелись данные радиозондирования, начиная с высоты 500 м. Рядом с экспериментальными интегральными значениями  $\int A, dv$  в скобках дано число атмосферных масс для данной высоты  $h$ .

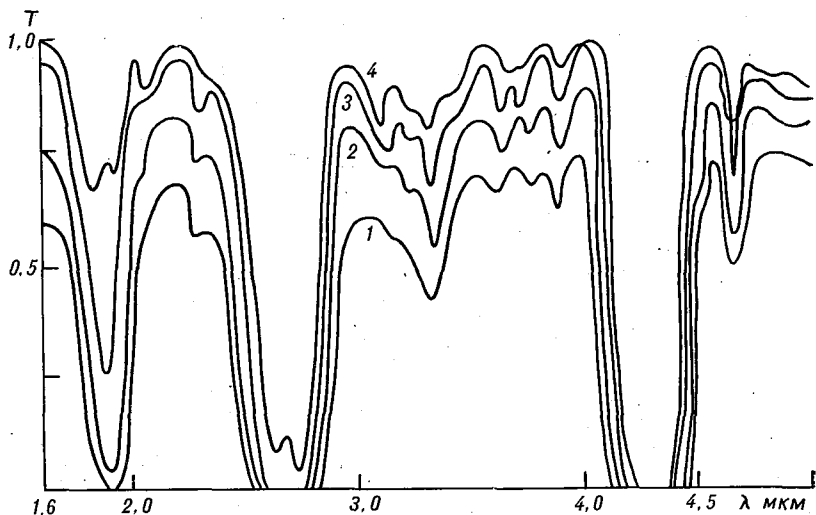


Рис. 1. Спектр пропускания атмосферы в районе г. Запорожья 29 VIII 1973 г. для разных высот.

1 —  $H=500$  м,  $M=1,32$ ; 2 —  $H=1350$  м,  $M=1,28$ ; 3 —  $H=2850$  м,  $M=1,27$ ; 4 —  $H=5500$  м,  $M=1,24$ ; геометрическая ширина щели 0,1 мм;  $\Delta v=75$  см<sup>-1</sup>,  $u\lambda=2$  мкм;  $\Delta v=15$  см<sup>-1</sup>,  $u\lambda=4,5$  мкм.

Полученные экспериментальные значения удовлетворительно совпадают с рассчитанными для реальных количеств осажденной воды в столбе атмосферы. Некоторое превышение экспериментальных значений над расчетными, очевидно, вызвано влиянием соседней полосы  $\text{CO}_2$  с центром у  $\lambda = 2,00$  мкм, интегральное поглощение которой для  $M=1$  с высоты 500 м оценивается примерно в 50 см<sup>-1</sup>. Однако это влияние проявляется существенно лишь для нижнего слоя 3000 м, причем только за счет  $R$ -ветви при достаточно высоких значениях  $\int_h^\infty A, dv$ . На трех нижних уровнях вклад  $\text{CO}_2$  не превышает 10%, т. е. лежит в пределах ошибок измерений.

На рис. 1 представлен спектр пропускания атмосферы 29 VIII для четырех высот полета при близких  $M_h$  по данным измерений вне города в области спектра 1,6—5,0 мкм.

Достаточно хорошее разрешение прибора в области 4,5—5 мкм позволило подробно записать систему полос  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$  при наличии поглощения  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$ .

Для выяснения вклада в поглощение различных компонентов нами по [2, 3, 6] был проведен расчет ослабления в указанном участке за счет  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , причем считалось, что  $\text{CO}$  и  $\text{N}_2\text{O}$  имеют постоянную объемную концентрацию, равную  $1,0 \cdot 10^{-6}$

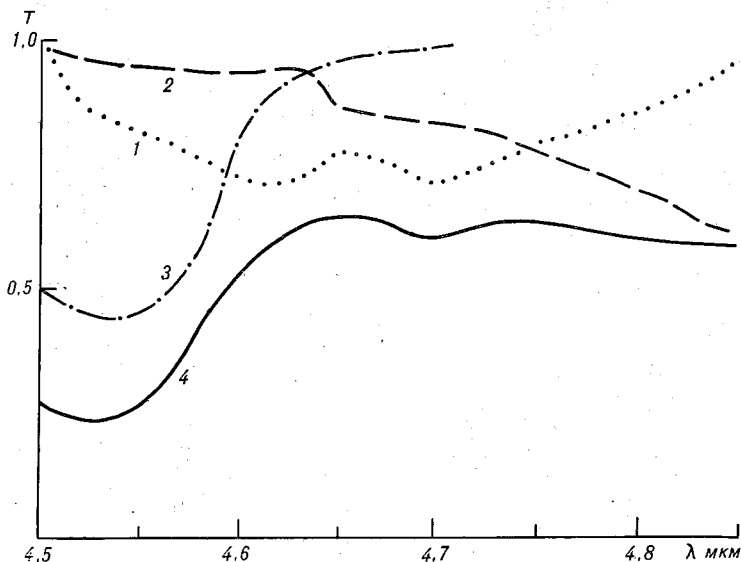


Рис. 2. Расчетный спектр пропускания атмосферы [3] для  $h=500$  м,  $M=1$  для объемных концентраций  $\text{CO}$   $m=1 \cdot 10^{-6}$ ,  $\text{N}_2\text{O}=2,7 \cdot 10^{-7}$  и  $\text{H}_2\text{O}$  по данным радиозондирования 29 VIII для спектрального интервала 4,5—4,85 мкм.

1 — спектральное пропускание  $\text{CO}$ , 2 — спектральное пропускание  $\text{H}_2\text{O}$ , 3 — спектральное пропускание  $\text{N}_2\text{O}$ , 4 — суммарное пропускание.

и  $2,7 \cdot 10^{-7}$  соответственно, а содержание  $\text{H}_2\text{O}$  изменяется согласно табл. 2.

На основании теоремы умножения строилась огибающая суммарного спектра пропускания, которая проводилась по точкам, рассчитанным для произведения

$$T_v = T_v^{\text{N}_2\text{O}} T_v^{\text{H}_2\text{O}} T_v^{\text{CO}}. \quad (6)$$

Спектр каждой компоненты и суммарный спектр пропускания для  $h=500$  м и  $M=1$  представлен на рис. 2.

На рис. 3 показан измеренный спектр пропускания атмосферы, состоящий из вышеуказанных компонент, полученный с несколько лучшим разрешением, чем расчетный.

Следует отметить относительно высокую прозрачность в области  $\lambda=4,5 \div 4,6$  мкм  $P$ -ветви  $\text{N}_2\text{O}$  и, наоборот, достаточно низкую



в области  $\lambda=4,6 \div 4,7$  мкм по сравнению с расчетной прозрачностью, хотя расчетный и измеренный спектр пропускания для полосы  $N_2O$  совпадают удовлетворительно.

Настоящие данные не позволяют корректно рассчитать концентрацию на разных высотах в атмосфере, поскольку в выделяемом спектральном интервале  $\nu=15$  см<sup>-1</sup>, как правило, находится несколько линий другого газа. Для этой цели требуется значительно более высокое разрешение и поскольку расстояния между линиями в полосе CO порядка 4 см<sup>-1</sup>, то при обычном методе дисперсии света потребуется выделение одной сильной линии погло-

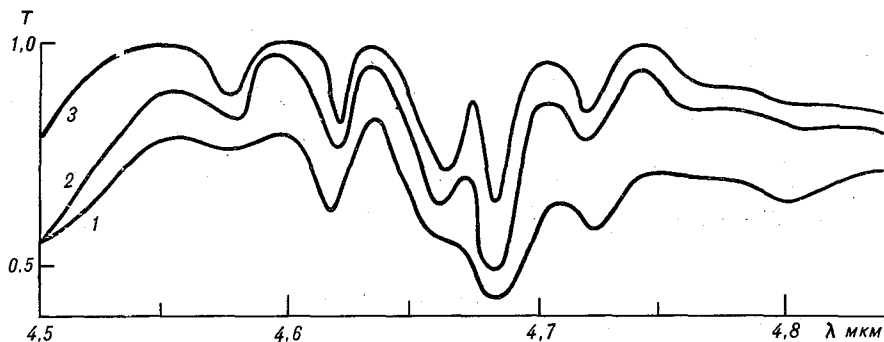


Рис. 3. Измеренный над г. Запорожьем 29 VIII спектр пропускания атмосферы для разных высот.

1)  $H=500$  м,  $M=1,32$ ; 2)  $H=1350$  м,  $M=1,28$ ; 3)  $H=2850$  м,  $M=1,27$ , спектральный интервал 4,5—4,85 мкм, спектральное разрешение  $\Delta\nu=15$  см<sup>-1</sup>.

щения. Для иллюстрации в табл. 3 [5] даны положения линий поглощения различных газов, входящих в интервал 2170—2135 см<sup>-1</sup>, на который приходится максимум поглощения полосы CO.

Таблица 3

№ п/п	$\nu$ см <sup>-1</sup>	Газ	Идентификация	№ п/п	$\nu$ см <sup>-1</sup>	Газ	Идентификация
1	2169,3	CO	1-0 R <sub>6</sub>	11	2151,0	CO	1-0 R <sub>1</sub>
2	2167,5	H <sub>2</sub> O	$\nu_2$	12	2148,5	—	—
3	2165,7	CO	1-0 R <sub>5</sub>	13	2147,4	CO	1-0 R <sub>0</sub>
4	2163,5	H <sub>2</sub> O	$\nu_2$	14	2145,6	H <sub>2</sub> O	$\nu_2$
5	2161,9	CO	1-0 R <sub>4</sub>	15	2141,3	C <sup>13</sup> O <sup>16</sup>	1-0 R
6	2159,6	N <sub>2</sub> O	$\nu_3$	16	2139,5	CO	1-0 P <sub>1</sub>
7	2158,4	CO	1-0 R <sub>3</sub>	17	2138,3	H <sub>2</sub> O	$\nu_2$
8	2156,7	H <sub>2</sub> O	$\nu_2$	18	2137,3	H <sub>2</sub> O	$\nu_3$
9	2154,7	CO	1-0 R <sub>2</sub>	19	2135,8	CO	1-0 P <sub>2</sub>
10	2152,6	H <sub>2</sub> O	$\nu_2$	20	2134,4	C <sup>13</sup> O <sup>16</sup>	1-0 R

Из анализа табл. 3 следует, что определить концентрацию CO с достаточной точностью можно лишь для узких спектральных

интервалов, таких, как  $2151\text{--}2146\text{ см}^{-1}$ , в который входят две линии CO (слабая линия № 12 неидентифицирована), либо  $2165\text{--}2160\text{ см}^{-1}$  — куда также входят две сильные линии CO и слабая линия  $\text{H}_2\text{O}$ . В этом случае, пренебрегая наложением крыльев линий из соседнего интервала, по изменению угла наклона кривой оптической толщины в зависимости от  $h$  можно определить содержание CO.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рабинович Ю. И., Решетников А. И. Самолетная установка для исследования спектральной прозрачности атмосферы.— «Тр. ГГО», 1970, вып. 235, с. 171—174.
2. Киселева М. С., Непорент Б. С., Федорова Е. О. Поглощение инфракрасной радиации при неразрешенной структуре спектра для наклонных путей в атмосфере.— «Изв. АН СССР, сер. физ. атм. и океана», 1967, т. 3, № 6, с. 640—652.
3. Голубицкий Б. М., Москаленко Н. И. Функции спектрального пропускания в полосах паров  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$ .— «Изв. АН СССР, сер. физ. атм. и океана», 1968, т. 4, с. 346—359.
4. Show I. H. Empirical methods for computing the integrated Absorptances of infrared Bands of Atmospheric Gases at Nonuniform Pressures.— “Applied Optics”, 1963, v. 2, No. 6, p. 605—609.
5. Houghton I. C., Hughes N. D. An atlas of the infrared spectrums from 1 to  $6,5\ \mu$  observed from night-altitude aircraft.— “Philosophical transactions of royal society of London”. Ser. A, 1961, No. 1036, v. 254, p. 1—45.
6. Москаленко Н. И. Экспериментальные исследования прозрачности паров  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , CO в условиях искусственной атмосферы.— «Изв. АН СССР, физика атмосферы и океана», 1969, т. 9, с. 262—272.

Б. И. ВДОВИН, Т. П. КРИНИНА,  
И. И. СОЛОМАТИНА, Л. Р. СОНЬКИН

## МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В ЗАПОРОЖЬЕ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН

В данной работе представлены результаты изучения метеорологических условий загрязнения воздуха по материалам Запорожской экспедиции, проведенной в августе и начале сентября 1972 г. Трудности статистического анализа материала связаны с коротким периодом наблюдений. С другой стороны, отборы проб воздуха на пунктах 15—20 раз в сутки, одновременное проведение подфакельных наблюдений и непрерывная регистрация сернистого газа с помощью газоанализаторов позволили получить большую плотность информации, что существенно повышает доверие к характеристике загрязнения воздуха отдельных дней.

Изучалась зависимость содержания примесей от метеорологических условий в целом по городу и под факелами некоторых промышленных объектов. В качестве обобщенной характеристики загрязнения воздуха по городу в целом, как в ранее выполненных работах [7—9 и др.], принимался параметр  $P$ , показывающий какая часть из измеренных за день концентраций является существенно повышенной (выше 1,5 средних за весь период значений). Параметр  $P$  рассчитывался по каждой примеси в отдельности (сернистый газ, пыль, фенол, двуокись азота, окись углерода) и по всем примесям вместе. Для его определения за один день использовалось около 250—300 наблюдений. В этом случае статистическая неслучайность дней с большими ( $>0,3$ ) и с малыми ( $<0,1$ ) величинами  $P$  практически равна 100% [4, 7]. При обработке рассматривались значения параметра  $P$ , рассчитанные отдельно для первой (6—12 ч) и второй (14—20 ч) половины дня. Такое подразделение в некоторой степени обусловлено возможностью увязывания результатов анализа с данными работ, выполненных по сетевым наблюдениям, осуществляющимся, как известно, по скользящему графику поочередно в первую и во вторую половину дня. Состояние загрязнения воздуха с 6 до 12 ч в значительной степени определяется ночными и утренними

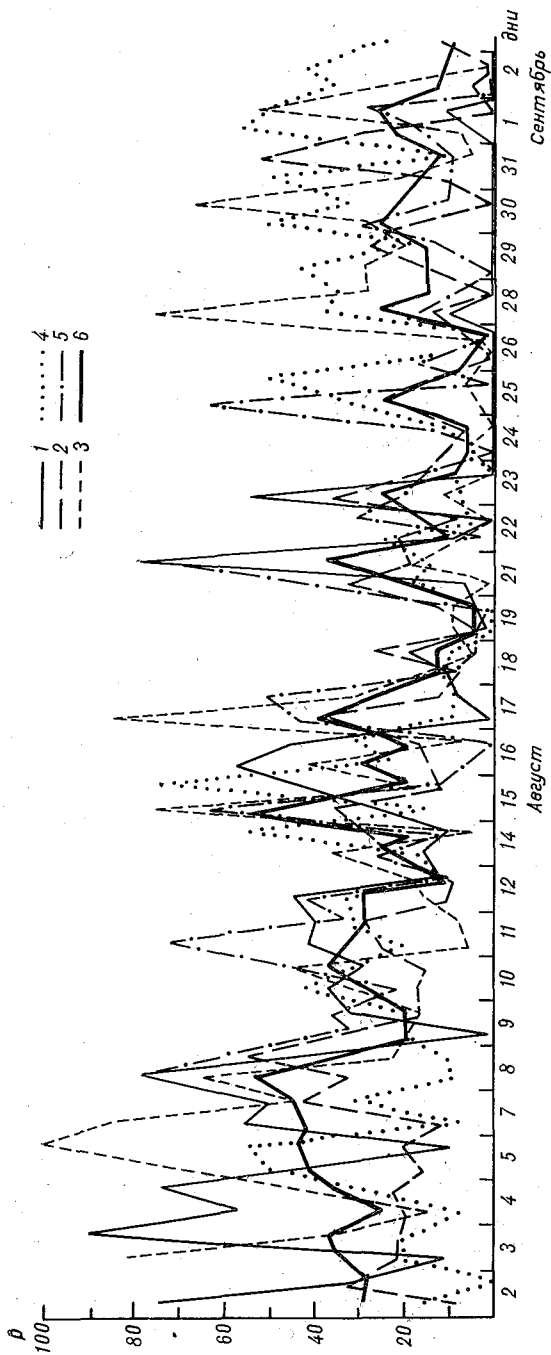


Рис. 1. Временной ход суточных величин параметра  $P$  по сернистому газу (1), окиси углерода (2), двуокиси азота (3), пыли (4), фенолу (5) и по всем примесям вместе (6).

метеорологическими условиями, а с 14 до 20 ч — дневными. На рис. 1 представлен ход параметра  $P$  в течение всего периода. Из рисунка видно, что связь между величинами  $P$  для различных примесей практически не проявляется. Это объясняется, в частности, различной высотой источников выброса, температурой и скоростью выходящих газов рассматриваемых ингредиентов. Однако в отдельные дни при определенных метеорологических условиях отмечается одновременно по всем примесям высокие (8, 15, 21, 28 VIII) или низкие (19, 24, 26 VIII) значения параметра  $P$ .

Рассмотрено влияние на уровень загрязнения воздуха инерционного фактора, которое отмечалось по данным ряда городов [7—9]. По экспедиционным материалам Запорожья этот фактор также проявляется весьма четко (табл. 1).

Особый практический интерес представляет связь между значениями параметра  $P$  в первой и во второй половине дня (рис. 2). Коэффициент корреляции между этими величинами оказался  $r = 0,61 \pm 0,10$ . Этот вывод важен в связи с тем, что схемы для прогноза фоновое загрязнения воздуха в городе из-за скользящего графика наблюдений на сети Гидрометслужбы разрабатываются отдельно по материалам первой и второй половины дня. Полученные результаты указывают на возможность распространения прогноза, составленного для первой половины дня, на весь день. Следует заметить, что сравнительно высокая корреляция получена по летним данным, когда суточный ход метеорологических параметров и, соответственно концентраций примесей в приземном слое воздуха велик.

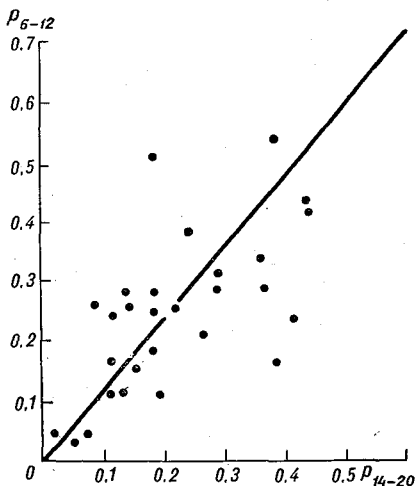


Рис. 2. Зависимость между величинами параметра  $P$ , рассчитанными по данным за 6—12 ч и за 14—20 ч того же дня.

Таблица 1

Повторяемость (%) повышенных ( $>0,2$ ) значений параметра  $P$  в зависимости от его величины в предшествующий период

$P$ в предшествующий период	Повторяемость (%) величин $P > 0,2$	Число случаев
$<0,15$	12	17
$>0,30$	64	14

В связи с тем, что основная часть города и большинство пунктов наблюдений расположено южнее и юго-западнее группы основных источников выбросов, сравнительно четко проявилась зависимость загрязнения воздуха от направления ветра (табл. 2).

Таблица 2

Средние значения параметра  $P$  в зависимости от направления ветра

Часть дня	Румбы		
	С, СВ	В, ЮВ, Ю	ЮЗ, З, СЗ
6—12 ч	0,28	0,20	0,14
14—20 ч	0,21	0,26	0,05

Как видно из таблицы, повышенное загрязнение воздуха отмечается при северном и северо-восточном ветре, когда примеси переносятся со стороны основных предприятий. Такой эффект достаточно четко проявился и при обработке данных газоанализаторов [5]. Повышенные концентрации отмечаются также при южном и юго-восточном ветре. Это может быть связано, во-первых, с тем, что часть источников расположена в южных и юго-восточных районах города. Наряду с этим здесь может иметь значение то обстоятельство, что южные и юго-восточные ветры, как правило, оказываются неблагоприятными, видимо, в связи с сопутствующими им метеорологическими условиями. Такое положение отмечалось в ряде советских и зарубежных городов. Устойчивые ветры юго-западного, западного и северо-западного направлений наблюдались редко (6 случаев), с ними были связаны случаи наиболее низкого загрязнения воздуха.

По фактическим данным анализировались метеорологические условия, определяющие степень загрязнения воздуха при заданном направлении ветра отдельно по материалам первой и второй половины дня. В утренние часы высокое содержание примесей наблюдалось при сравнительно слабом ветре. Так, при высоких значениях параметра  $P$  скорость ветра по данным городской метеостанции в среднем составляла около 2 м/с, при низких значениях  $P$  — более 3 м/с. Связи между загрязнением воздуха в утренние часы и термической стратификацией в слое до 500 м практически не обнаружено. Такое положение имело место и по данным наблюдений в Чите [9]. Это, видимо, объясняется тем обстоятельством, что в утренние часы летом практически всегда имеет место приземная инверсия, которая постепенно разрушается. В то же время по материалам за утренние сроки достаточно четко проявляется связь концентраций с разностью температуры в слое от 0,5 до 2 м ( $\Delta t_{0,5-2}$ ). При экстремально высоком загрязнении воздуха  $\Delta t_{0,5-2}$  в среднем близко к нулю, при экстремально низком — превышает 0,4°.

Таким образом, характерным для формирования высокого загрязнения воздуха в первой половине дня является ветер северного и северо-восточного направлений небольших скоростей, устойчивая стратификация в нижнем слое воздуха, повышенный уровень загрязнения в предшествующий день. Случаи с указанными сочетаниями предикторов характерны самыми высокими значениями параметра  $P$  за весь период наблюдений (0,54 и 0,52).

Во второй половине дня слабый ветер не является характерным для создания высокого загрязнения воздуха. Наибольшие значения параметра  $P$  имеют место при скоростях ветра 3—5 м/с. Связь параметра  $P$  с температурной стратификацией в 15 ч показана в табл. 3. Различие средних значений  $P$  в табл. 3 удовлетворяет 1%-ному критерию статистической значимости Стьюдента [4].

Таблица 3

Загрязнение воздуха в зависимости от разности температуры в слое 0,5—2 м ( $\Delta t_{0,5-2}$ ) и в слое 0—500 м ( $\Delta T_{0-500}$ )

$\Delta t_{0,5-2}^{\circ}$ . . . . .	$>1$	$<1$
$\Delta T_{0-500}^{\circ}$ . . . . .	$\leq 5$	$>5$
Средние значения $P$ . . . . .	0,37	0,15
Число случаев . . . . .	4	17

Из таблицы видно, что высокое загрязнение воздуха характерно для метеорологической ситуации со значительной неустойчивостью в приземном слое и устойчивой стратификацией в 500-метровом слое. Это означает наличие если не инверсии, то по крайней мере задерживающего слоя над источниками при интенсивном перемешивании на более низких уровнях. Если в слое 0,5—2 м в дневные часы разность температур ниже  $1^{\circ}$ , а до высоты 500 м в среднем наблюдается сверхдиабатический градиент, то загрязнение воздуха по городу в целом понижено.

Полученные выводы соответствуют имеющимся физическим представлениям [1—3].

Большой объем информации в период проведения экспедиции позволяет детально рассмотреть метеорологические условия отдельных случаев экстремального загрязнения воздуха.

Самое высокое загрязнение воздуха за весь период наблюдалось 8 VIII в первую половину дня. По всем примесям  $P=0,54$ , при этом высокие величины параметра  $P$  отмечались по сернистому газу, окиси углерода, двуокиси азота, фенолу (исключение составляла только пыль). Одновременно повышенные концентрации сернистого газа были зафиксированы газоанализаторами, а фтористых соединений — при отборе проб под факелом алюминиевого завода на расстояниях 2, 3 и 6 км от источника (в период 11 ч 25 мин — 14 ч 40 мин). Выделено также несколько дней с экстремально низким загрязнением воздуха по всем примесям. В качестве примера экстремально высокого загрязнения воздуха можно взять 8 VIII, экстремально низкого — 24 VIII.

На рис. 3 и 4 представлены вертикальные разрезы за периоды, включающие указанные два дня и некоторые другие метеорологические характеристики. Особенности метеорологических процессов, обусловивших 8 VIII наиболее интенсивное загрязнение воздуха по всем примесям, заключались в следующем. В ночь с 7 на 8 VIII вследствие адвекции тепла за фронтом окклюзии по типу теплого фронта и одновременного радиационного выхолаживания мощность приземной инверсии к 3 ч утра достигла 500 м, а ее интенсивность — 3°. В дальнейшем имело место замедление ее разрушения в утренние часы из-за увеличения облачности. В 11 ч 8 VIII еще отмечалась приподнятая инверсия с нижней границей около 200 м, а в последующие дневные часы вследствие неравномерной адвекции при сверхадиабатическом градиенте температуры в нижнем слое над источниками выбросов отмечалась устойчивая стратификация с  $\gamma > 0,5^\circ/100$  м. Максимальная высота уровня конвекции в течение дня не превышала 250—300 м. В дальнейшем характер процесса изменился. 9 VIII разрушение приземной инверсии проходило в обычные часы, а днем уровень конвекции превышал 1000 м. Загрязнение воздуха значительно уменьшилось.

Для случая относительно низкого загрязнения воздуха 24 VIII было характерно отсутствие приземной инверсии в ночные часы и возникновение к 12 ч уровня конвекции выше 1000 м.

Описанные случаи являются характерными и в целом подтверждают приведенные выше результаты.

Из материалов, представленных в данной статье, видно, что основной вклад в создание общегородского загрязнения воздуха вносят объекты, расположенные на промышленной площадке в северо-восточной части города. С этим связан повышенный уровень концентраций при северных и северо-восточных ветрах, который часто усиливается наличием других неблагоприятных метеорологических условий.

Известно, что одни и те же метеорологические условия могут оказывать разное воздействие на изменение концентраций примесей в зависимости от типа источника, и в первую очередь от его высоты.

Рассмотрим условия высокого загрязнения воздуха фтористыми соединениями за счет выбросов Днепровского алюминиевого завода (ДАЗа). Завод расположен в северо-восточной части города на востоке промплощадки. Наиболее неблагоприятными направлениями ветра являются ветры северных и восточных румбов, поскольку в таких случаях факел будет направлен на наиболее плотно населенные жилые кварталы. Организованные выбросы на ДАЗе осуществлялись через трубы высотой 35—120 м, неорганизованные — из фонарей, расположенных на уровне 17,6 м, а также из различных отверстий, окон и проемов. Температура выбрасываемых газов из трех труб высотой 120 м превышала температуру атмосферного воздуха на 40°, температура газов из остальных источников была выше атмосферной на 5—10°. Согласно прове-



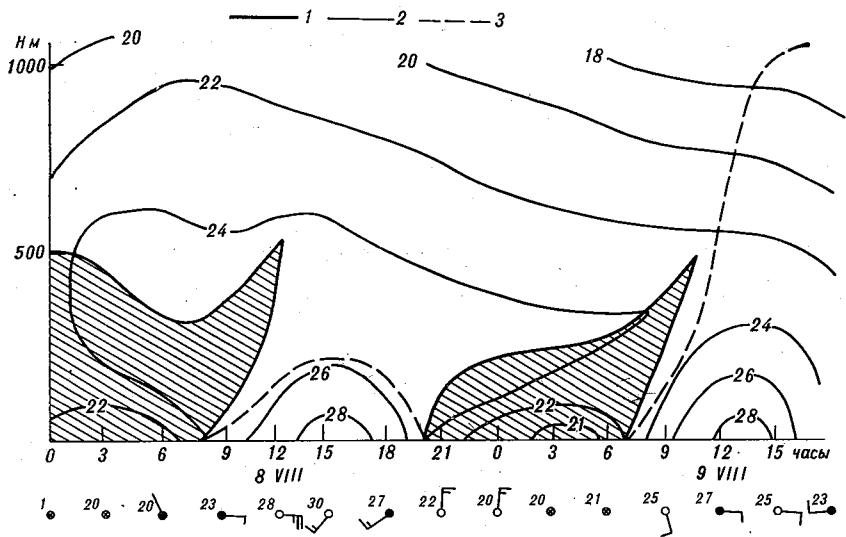


Рис. 3. Вертикальный температурный разрез за период 8—9 VIII.

1 — границы инверсий, 2 — изотермы, 3 — верхняя граница слоя конвекции.  
 Под рисунком приведены данные о погоде в общепринятой синоптической форме.

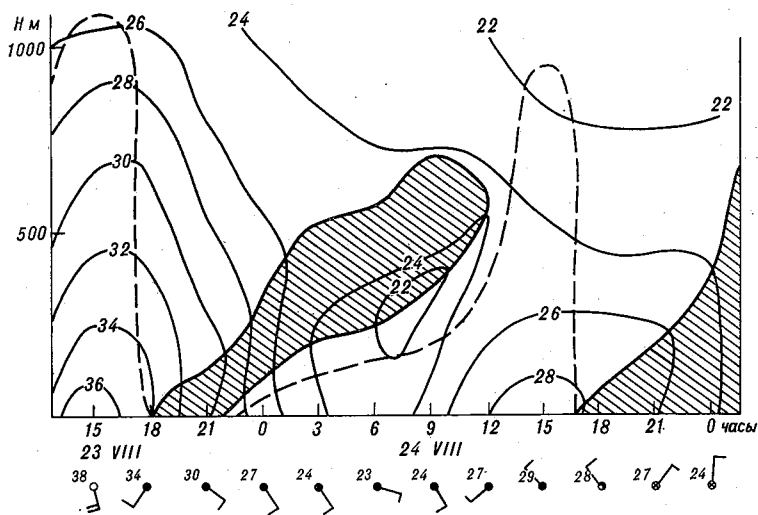


Рис. 4. Вертикальный температурный разрез в течение периода 23—24 VIII 1972 г.

Уел. обозначения см. на рис. 3.

денным расчетам, опасная скорость ветра для труб высотой 120 м составляла 3,6 м/с, для остальных более низких источников — 1,5—2,0 м/с, а расстояния, на которых должны наблюдаться максимальные концентрации, были соответственно 2,5 и 0,5 км.

Согласно [3], сочетания скоростей ветра, близких к опасным, и сверхадиабатических градиентов, когда имеет место интенсивный обмен и перенос примеси в приземный слой, относятся к часто встречающимся неблагоприятным метеорологическим условиям погоды.

Аномально опасные условия загрязнения воздуха могут создаваться при наличии приподнятых инверсий, расположенных непосредственно над дымовыми трубами, при ослаблении ветра до штиля ниже источника, при туманах [1—3].

Для определения нижней границы приподнятой инверсии, при которой создается наиболее опасное загрязнение воздуха, была проведена оценка высоты начального подъема факела  $\Delta H$  для труб высотой 120 м с более высокой температурой выбрасываемых газов и с наибольшим количеством выбрасываемых примесей. Оказалось, что при скоростях ветра, близких к опасной, величина  $\Delta H$  составляет 50—60 м. Следовательно, для этих труб опасной будет приподнятая инверсия, нижняя граница которой располагается на высоте 180—250 м. Для других источников  $\Delta H$  мало, поэтому приподнятые инверсии с нижней границей 50—150 м могут привести к увеличению концентраций, определяемых их выбросами.

Значительное увеличение загрязнения воздуха под факелом ДАЗа следует ожидать, когда при сверхадиабатическом градиенте температуры ниже источника расположен штилевой слой.

Особенно сильное увеличение концентраций следует ожидать при одновременном сочетании приподнятой инверсии над источниками со слабым ветром (0—1 м/с) у земли и скоростями ветра 3—5 м/с на уровне выбросов.

При анализе подфакельных наблюдений оказалось, что наибольшие концентрации фтористых соединений наблюдались 8, 9 и 12 VIII, минимальные — 19 и 23 VIII. Следует отметить, что в период экспедиции максимальные концентрации отмечались в дневные часы при сверхадиабатическом градиенте температуры и слабым ветре ниже источников, когда примеси вследствие интенсивного турбулентного перемешивания поступали в приземный слой воздуха, а слабый горизонтальный перенос способствовал их накоплению.

В период экспедиции в опытным порядке составлялись прогнозы загрязнения воздуха. На основании ранее обработанных материалов для г. Запорожье было установлено, что средневзвешенная опасная скорость ветра составляет около 3 м/с. Наряду с этим в соответствии с выполненными исследованиями [7, 8, 9] и известными особенностями распространения примесей в данном городе принималось, что повышенное загрязнение воздуха в целом по городу может наблюдаться при следующих условиях:

- при ветре северного и северо-восточного румбов,
- в утренние часы, когда штиль сопровождается приземной инверсией,
- при приподнятой инверсии и скорости ветра 2—4 м/с,
- при туманах.

Пониженное фоновое загрязнение воздуха в городе должно определяться следующими условиями:

- ветрами западной половины горизонта,
- в дневные часы слабым ветром неустойчивых направлений,
- умеренным ветром (3—6 м/с) при устойчивой стратификации,
- сильным ветром, независимо от термической стратификации и других условий,
- выпадением дождя.

Наряду с этим считалось, что большое влияние на загрязнение воздуха оказывает инерционный фактор — имеется тенденция к сохранению существующего уровня.

Учитывалось также, что при восточном ветре могут создаваться высокие концентрации примесей вследствие наложения выбросов, хотя в этом случае такое явление может наблюдаться только в отдельных районах, не захватывая весь город.

В связи с отсутствием для г. Запорожья прогностической схемы, прогнозы составлялись качественно на основании приведенных выше положений. Предсказывалась одна из трех групп относительного загрязнения воздуха: высокое ( $P > 0,35$ ), повышенное ( $0,20 < P \leq 0,35$ ), пониженное ( $P \leq 0,20$ ). Для каждого дня давалось два прогноза: по городу в целом и для той части города, которая оказывалась под непосредственным влиянием выбросов основной промышленной площадки. Соответственно рассчитывались два значения параметра  $P$ .

Для расчета второго значения принимались только пункты, оказавшиеся с подветренной стороны от основной промплощадки. Ежедневный расчет параметра  $P$  проводился на основании средних концентраций за летний сезон 1971 г. (При обработке материалов параметр  $P$  был пересчитан с учетом средних концентраций за период экспедиции.)

Составлено 14 опытных прогнозов фонового загрязнения воздуха в целом по городу, из которых оправдалось 12, и 10 прогнозов для подветренных по отношению к промплощадке районов города, из которых оправдалось 9.

Таким образом, при анализе материалов Запорожской экспедиции в целом подтвердились известные зависимости загрязнения воздуха от метеорологических условий, а также получены новые результаты, которые могут быть использованы при прогнозировании загрязнения воздуха в данном городе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянд М. Е. и др. Численные исследования атмосферной диффузии при нормальных и аномальных условиях.— «Тр. ГГО», 1964, вып. 158, с. 22—23.
2. Берлянд М. Е. Об опасных условиях загрязнения атмосферы промышленными выбросами.— «Тр. ГГО», 1966, вып. 185, с. 15—25.
3. Берлянд М. Е., Соломатина И. И., Сонькин Л. Р. О прогнозировании загрязнения воздуха.— «Метеорол. и гидрол.»; 1972, № 9, с. 11—17.

4. Пановский Г. А., Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии. Л., Гидрометеиздат, 1967, 238 с.
5. Коньков С. А., Соломатина И. И., Елекоева Л. И. Особенности загрязнения городского воздуха сернистым газом по данным газоанализаторов.— См. наст. сборник.
6. Мрoze, Вормбт В. Регистрация содержания сернистого газа на окраине большого города. Сравнения результатов измерений в долине и на возвышенности.— В кн.: Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1971, с. 269—279.
7. Сонькин Л. Р., Денисова Т. П. Метеорологические условия формирования периодов интенсивного загрязнения воздуха в городах.— «Тр. ГГО», 1969, вып. 238, с. 33—41.
8. Сонькин Л. Р. Некоторые возможности прогноза содержания примесей в городском воздухе.— «Тр. ГГО», 1971, вып. 254, с. 121—131.
9. Сонькин Л. Р., Храпаченко В. А. Содержание примесей в городском воздухе в зависимости от метеоусловий в летнюю часть года.— «Тр. ГГО», 1973, выи. 293, с. 68—77.

*Н. С. БУРЕНИН, Б. И. ВДОВИН*

## **ВЕРТОЛЕТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ НАД ГОРОДОМ**

При изучении степени загрязнения воздушного бассейна городов и промышленных центров, а также в районах отдельных мощных промышленных источников представляет интерес наряду с исследованием особенностей пространственного распределения наземных концентраций изучение вертикального профиля примесей. В сочетании с измерениями ряда метеорологических параметров эти данные могут быть использованы при расчетах для диагноза и прогноза условий загрязнения в обследуемом районе, а также ряда задач, связанных с охраной внешней среды: архитектурно-планировочных — по рациональной застройке городов и реконструкции существующих промышленных источников выброса, направленных на уменьшение загрязнения воздушного бассейна городов. Важно также определение горизонтальной и вертикальной дальности распространения примесей с удалением от источников выбросов и геометрических размеров дымовой «шапки» над городом.

Летом 1972 г., в период проведения широкого комплекса экспедиционных исследований в городе Запорожье проводился отбор проб воздуха над городом с помощью вертолета МИ-1.

Программа работ включала выполнение двух основных видов наблюдений:

1) отбор проб воздуха на сернистый газ, фенол, двуокись азота, окись углерода, фтористый водород на высотах 100, 200 и 400 м над четырьмя районами города. Отбор проб осуществлялся во время полета по кругу радиусом 0,8—1,2 км над заранее выбранным ориентиром в центре каждого из обследуемых районов на заданной высоте в течение 20 мин;

2) отбор проб для определения содержания окиси углерода в нижнем слое атмосферы (от высоты 1000 м до высоты около 50 м) во время снижения вертолета с вертикальной скоростью 2—3 м/с и скоростью полета около 40 км/ч против ветра над данной точкой. Пробы отбирались с экспозицией 2 мин, что

соответствовало прохождению вертикальных слоев толщиной 150—200 м.

Кроме того, проводились полеты в дымовом факеле до расстояний 10—15 км от центра источников выброса для помощи в расстановке групп наблюдателей, осуществляющих отбор проб воздуха на уровне 1,5 м от поверхности земли в зоне под факелом.

Заборник, выполненный в виде воронкообразного полиэтиленового наконечника, устанавливался на специальном выносе впереди вертолета. Место установки заборника проб воздуха было выбрано с учетом условий обтекания вертолета встречным воздушным потоком [4].

В качестве внешнего воздухозаборного канала использовалась фторопластовая трубка диаметром 8 мм, один из концов которой присоединялся к воздухораспределителю, установленному в кабине вертолета. Воздухораспределитель с помощью системы резиновых трубок соединялся с U-образными поглотителями (для отбора на сернистый газ, двуокись азота и фенол) и поглотителем Рыхтера (для отбора на фтористый водород), установленными в штативы, заполненными соответствующими поглотительными растворами. Перед поглотителем Рыхтера дополнительно устанавливался фильтр из ткани ФПП-15. Поглотители также с помощью системы резиновых трубок присоединялись через стеклянные осушители, заполненные силикагелем и предназначенные для предохранения ротаметров побудителей расхода от попадания в них влаги, к побудителям расхода воздуха.

В качестве побудителей расхода использовались специальные воздуходувки с четырьмя каналами и питанием от бортовой сети (27В, 50Вт), сконструированные на базе воздуходувки завода «Красногвардеец» и воздуходувки ЛК-1 с питанием 12 В. Аккумуляторы на 12 В дополнительно устанавливались в багажном отсеке вертолета.

Отбор проб воздуха на окись углерода производился путем нагнетания воздуха с помощью резиновых груш-пульверизаторов в резиновые камеры.

Анализ отобранных проб производился в химической лаборатории экспедиции ГГО в соответствии с [3]. Кроме того, частично анализ проб на СО проводился с помощью оптико-акустического газоанализатора ГМК-3. Всего за период работы (с 10 VIII по 4 IX) было выполнено 72 полета на «площадках» и отобрано свыше 500 проб на исследуемые ингредиенты. Было получено 35 вертикальных разрезов окиси углерода в нижнем километровом слое над отдельными точками города.

Полеты вертолета выполнялись в основном ежедневно, преимущественно в первую половину дня. В день обычно выполнялось по два полета: первый полет — в ранние утренние часы — 7—9 ч, а второй — с 10 до 13 ч, что позволяло учесть влияние различных метеорологических ситуаций.

В течение одного полета удавалось получить данные о вертикальном распределении  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $HF$  и фенола над двумя

районами города до высот порядка 400 м и профили СО до высоты 1000 м над отдельными точками.

Метеорологическое обеспечение указанных наблюдений включало температурное зондирование атмосферы с помощью второго вертолета МИ-1, радиозондов А-22-IV и температурно-ветровое зондирование с помощью привязного аэростата, установленного в центре города.

Два (№ 3 и 4) из четырех районов, над которыми проводились полеты вертолета МИ-1 с аппаратурой для отбора проб воздуха, относились к центральной части города со старой планировкой жилых кварталов и с промышленными источниками, сосредоточенными на одной промплощадке. Для других двух районов характерна новая планировка жилых кварталов с развитой сетью автомагистралей.

По данным измерений сернистого газа, двуокиси азота, окиси углерода, фенола и фтористого водорода над четырьмя районами города были рассчитаны основные характеристики загрязнения воздуха и в том числе величины средних концентраций за период наблюдений для каждой из высот полетов вертолета, которые представлены в табл. 1 (где  $\bar{q}$  — средняя концентрация,  $q_{\max}$  — максимальная концентрация). Как видно из табл. 1 в основном наблюдается убывание концентраций измеряемых примесей в слое выше 100 м, однако градиент этого изменения незначителен. Из сопоставления полученных профилей вертикального распределения двуокиси азота, сернистого газа, фенола и фтористого водорода с данными наземных наблюдений следует, что в период обследования отмечалось убывание концентраций от подстилающей поверхности до высоты 400 м. Причем степень убывания концентраций в нижнем 100-метровом слое значительно выше, чем в слое 100—400 м.

Пробы воздуха, отобранные при полетах над одним из районов города, для определения содержания в воздухе окиси углерода анализировались параллельно с помощью двух приборов: газоанализатора ТГ-5 и оптико-акустического газоанализатора ГМК-3. Уровень концентраций окиси углерода по показаниям ТГ-5 значительно выше, чем по данным ГМК-3. Это связано с тем, что при анализе проб на газоанализаторе ТГ-5 определяется суммарное количество углеродосодержащих веществ.

Полученные величины содержания в воздухе над городом вредных примесей при полетах вертолета над различными районами города на разных высотах дают не мгновенную картину вертикального распределения концентраций, а представляют интегральные по площади характеристики загрязнения воздушного бассейна города сернистым газом, двуокисью азота, фенолом и фтористым водородом. Это связано с тем, что существующая методика отбора проб на эти ингредиенты предусматривает экспозицию отбора, равную 20 мин. Поэтому вертолет при полете над определенным районом города периодически проходит зоны различной интенсивности дымового факела и часто выходит совсем из факела. Так,

Распределение концентраций ( $\bar{q}/q_{\max}$ ) над различными районами города Запорожья в августе 1972 г.

Примесь	№ района			
	1	2	3	4
$H=100$ м				
SO <sub>2</sub>	0,35	0,19	0,35	0,16
NO <sub>2</sub>	0,15	0,15	0,15	0,15
CO (по ГМК)	0,45	0,42	0,39	0,70
CO (по ТГ-5)	—	0,73	—	—
Фенол	0,25	0,18	0,28	—
HF	—	—	—	0,44
$H=200$ м				
SO <sub>2</sub>	0,43	0,30	0,32	0,19
NO <sub>2</sub>	0,20	0,05	0,10	0,10
CO (по ГМК)	—	0,33	0,45	0,36
CO (по ТГ-5)	—	0,41	—	—
Фенол	0,05	0,16	0,28	—
HF	—	—	—	0,56
$H=400$ м				
SO <sub>2</sub>	0,35	0,35	0,30	0,19
NO <sub>2</sub>	0,20	0,05	0,10	0,10
CO (по ГМК)	0,17	0,43	0,20	0,34
CO (по ТГ-5)	—	0,41	—	—
Фенол	0,12	0,11	0,25	—
HF	—	—	—	0,37

коэффициент заполнения маршрута полета дымовым факелом, представляющий отношение длины пути, который проходит вертолет в зоне факела, к общей длине маршрута, составляет для отдельных районов 0,6—0,8, а для района № 2 — 0,5.

Для получения картины мгновенного распределения примесей в различных точках над городом отбирались пробы на окись углерода в нижнем километровом слое. Синхронно с отборами проб на высоте проводились отборы проб на наземных пунктах наблюдений, над которыми выполнялись полеты. На рис. 1 (здесь и на рис. 2:  $\bar{q}$  — средняя концентрация,  $q_{\max}$  — максимальная концентрация) представлены вертикальные профили распределения окиси углерода над тремя районами города. Как следует из графика, ход изменения концентраций CO с высотой несколько отличен от изменения с высотой других примесей. Так, концентрации CO возрастают от земной поверхности до высоты 100 м, а выше ход концентрации CO аналогичен ходу для других примесей. Возрастание концентраций CO в слое 0—100 м связано с тем, что источниками выбросов CO являются, с одной стороны, низкие источники — автотранспорт, а с другой, — высокие источники — промышленные предприятия.



Примеси, содержащиеся в выхлопных газах автотранспорта, за счет хорошо развитой термической конвекции (полеты проводились в основном в первую половину дня) быстро поднимаются от земной поверхности. При этом происходит наложение выбросов выхлопных газов от отдельных автомашин над каждой автомагистралью, а затем общий дымовой факел от отдельных автомагистралей суммируется с такими же факелами от близко расположенных магистралей. На такой образующийся общий факел от автотранспорта происходит наложение выбросов от промышленных источников.

Вертикальные отборы проб проводились над точками, удаленными от центра высоких источников промышленных выбросов на расстоянии 2—4 км, поэтому большая часть факела как раз приходилась на слой 0—100 м, и с учетом того, что в период обследования повторяемость направлений ветра, обуславливающих перенос примесей от промышленных источников к районам с интенсивным движением автотранспорта, составляла около 70%, полученный уровень распределения  $\text{CO}$  над городом можно считать близким к наибольшему. Таким образом, суммарный вклад выбросов выхлопных газов автотранспорта и промышленных предприятий является причиной повышенного содержания  $\text{CO}$  над земной поверхностью.

Приведенные осредненные за период наблюдений профили  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{HF}$  и фенола отличны от профилей, полученных в отдельные дни наблюдений. Последние указывают на наличие максимумов концентраций ряда примесей в слое 100—400 м, что связано с влиянием температурной стратификации [2]. Наибольшие отличия от рассмотренных осредненных вертикальных профилей концентраций вредных примесей отмечались в те часы, когда температурная стратификация по данным аэрологических измерений непосредственно в городе отличалась от нормальной. В качестве примера на рис. 2 приведены распределения с высотой сернистого газа, двуокиси азота и окиси углерода, полученные при измерениях на вертолете над одним из районов города, на который был направлен факел промышленных источников, и температуры воздуха

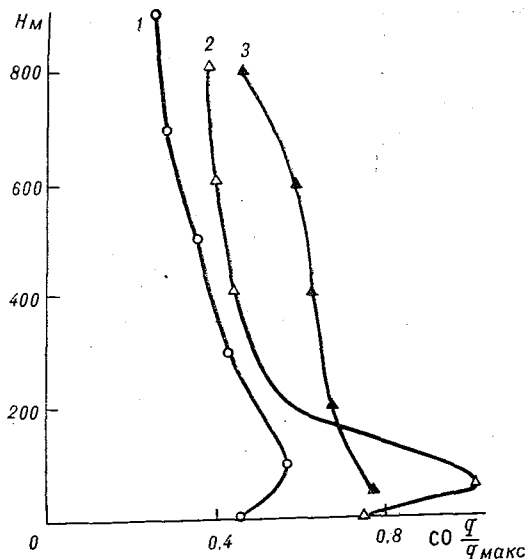


Рис. 1. Вертикальное распределение окиси углерода над различными районами города.

1 — район № 2, 2 — район № 3, 3 — район № 1.

по данным подъема аэростатного метеорографа с помощью привязного аэростата для 8—9 ч 14 VIII. В этот день в ранние утренние часы (5—6 ч) отмечалась приземная инверсия над городом, которая с развитием термической конвекции начала постепенно разрушаться от земной поверхности, и к 8 ч образовалась приподнятая инверсия в слое 150—500 м. Как видно из рис. 2, максимум концентраций сернистого газа и двуокиси азота отмечается на высоте 200 м в слое приподнятой инверсии, в той его части, где температурный градиент наибольший. Видимость в зоне факела (по визуальной оценке) составляла 300—500 м, а верхняя граница факела отмечена на высоте 250—300 м. Скопление примесей в нижней части приподнятой инверсии есть остаточное последствие нахождения факела на высоте 200—300 м в приземной инверсии в ранние утренние часы. Уменьшение концентраций окиси углерода с высотой от земной поверхности указывает на определяющий вклад в загрязнении воздуха окисью углерода низких источников выброса и в первую очередь выхлопных газов автотранспорта, которые в силу недостаточно развитой конвекции в утренние часы задерживаются в нижнем 50-метровом слое атмосферы.

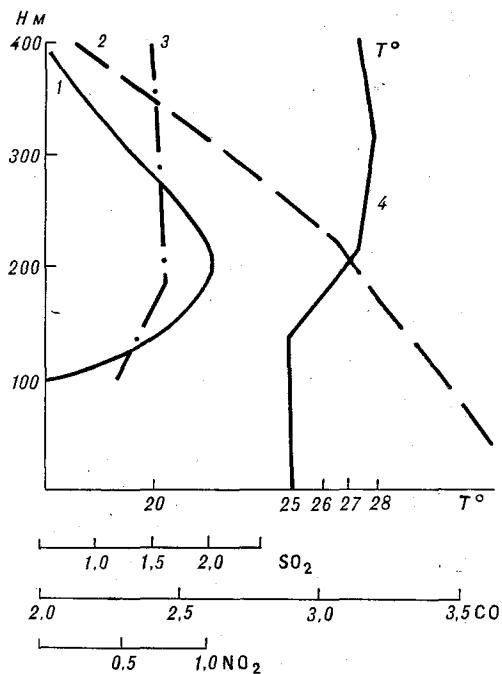


Рис. 2. Распределение сернистого газа, двуокиси азота, окиси углерода и температуры воздуха над городом по данным вертолетных измерений 14 VIII 1972 г. в 8—9 ч.

1 — двуокись азота, 2 — окись углерода, 3 — сернистый газ, 4 — верхняя граница факела.

В период обследования дымовая шапка над городом наблюдалась над промышленными районами, где расположены основные источники выброса и жилые районы, с подветренной стороны от промышленной площадки в зоне 2—3 км от нее. Относительно более чистым оказался район № 2, удаленный от промплощадки более чем на 3—4 км.

Видимость на высотах 100—200 м нередко была менее 1 км, особенно это относится к периодам, когда наблюдались приземные или приподнятые инверсии. При их наличии прослеживалась четко выраженная граница дымовой шапки, которая, как правило, была связана с резким изменением градиентов температуры внутри или на границах задерживающих слоев. В некоторых случаях за счет

сильного перегрева дымовой факел от металлургических предприятий пробивал верхнюю границу инверсии и рассеивался на некоторой высоте выше нее.

Иногда отмечался связанный с изменением направления ветра с высотой скос верхней части факела по отношению к нижней, который составлял 30—40°. Это связано с влиянием долины р. Днепра.

Общий дымовой шлейф прослеживался до расстояний 30—40 км от города, где еще сохранялась ухудшенная видимость. В отдельных случаях при ветре северного и смежных с ним румбов отмечалось ухудшение видимости с наветренной стороны от города, что, по-видимому, связано с влиянием дымового факела от расположенных на расстоянии около 70 км промышленных источников г. Днепрпетровска.

Как известно, предложенная в [5] классификация форм факела учитывает вертикальный температурный градиент в слое, в котором наблюдается распространение дыма, и пригодна, согласно [1], в основном для слабонагретого дымового факела при небольшой скорости выброса. Промышленную площадку г. Запорожья по типу и характеру выбросов вредных веществ в атмосферу можно разделить на две части: первая, где сосредоточены источники с сильно перегретыми выбросами вредных веществ, и вторая — с источниками холодных выбросов. Это позволило при выполнении полетов в периоды, когда направление ветра было таким, что факелы от двух указанных частей промплощадки распространялись до некоторого расстояния параллельно друг другу, сделать синхронные схематические зарисовки обоих наблюдаемых факелов. Сравнение показало, что формы факелов отличаются друг от друга. Так, при хорошо развитом турбулентном обмене в дневное время высота факела от источников с перегретыми выбросами значительно выше и его волнообразная форма имеет больший диапазон изменчивости геометрических размеров, чем в случаях холодных выбросов. Проведенная систематизация дымовых факелов по типам хорошо согласуется с более подробной классификацией, предложенной в [1].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляшова М. А., Васильченко И. В., Грачева В. П. Данные о формах факела дыма в связи с особенностями строения пограничного слоя.— «Тр. ГГО», 1965, вып. 172, с. 86—93.
2. Берлянд М. Е., Кондратьев К. Я. Города и климат планеты. Л., Гидрометеонздат, 1972, 40 с.
3. Временные методические указания по определению содержания примесей в атмосфере. Л., Гидрометеонздат, 1971, 79 с.
4. Горошко Б. Б., Зайцев А. С., Назаренко В. Я. Вопросы методики и результаты исследования загрязнения атмосферы с помощью вертолета.— «Тр. ГГО», 1962, вып. 234, с. 85—94.
5. Метеорология и атомная энергия. Пер. с англ. под ред. Е. К. Федорова, М., Изд. Иностран. лит., 1959, 259 с.

С. А. КОНЬКОВ, И. И. СОЛОМАТИНА,  
Л. И. ЕЛЕКОВА

## ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОГО ВОЗДУХА СЕРНИСТЫМ ГАЗОМ ПО ДАННЫМ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

Вопросам изучения загрязнения атмосферы промышленными выбросами в настоящее время уделяется большое внимание. Особое значение приобретают данные о загрязнении воздушного бассейна в городах, полученные путем непрерывной регистрации вредных примесей в течение длительного периода времени с помощью автоматических газоанализаторов, расположенных в различных частях города. Такие данные позволяют определить пространственные и временные изменения содержания примеси в городе в зависимости от характеристик источников выброса и метеорологических условий.

Во время экспедиции в г. Запорожье проводилась регистрация сернистого газа автоматическими газоанализаторами ГКП-1. В различных пунктах города было установлено 12 газоанализаторов на уровне 1,5—2,0 м от поверхности земли. Приборы были рассредоточены по всей территории г. Запорожья, но в тех его частях, где ожидалось наибольшее загрязнение, плотность пунктов была более высокой. Технические данные газоанализатора и организация пунктов отбора описаны в работе [1].

Основные источники выброса сернистого газа были сосредоточены на небольшой площади. При этом почти  $\frac{4}{5}$  выбросов приходилось на завод «Запорожсталь», а  $\frac{1}{5}$  распределялась между металлургическим, коксохимическим, абразивным и алюминиевым заводами.

Для характеристики загрязнения воздушного бассейна города за период наблюдений по всем пунктам были определены максимальные разовые, средние суточные и средние часовые концентрации сернистого газа. Из анализа полученного материала следует, что уровень загрязнения в период проведения экспедиции невысокий. Повторяемость относительно повышенных концентраций зависела при прочих равных условиях от расстояния места регистрации до основных источников выброса: на близко расположен-

ных (до 2,5 км) пунктах она составляла 34%, в более удаленных (3—7 км) — 15% и на пунктах, находящихся далее 10 км, — 2%. Относительно высокие концентрации сернистого газа наблюдались редко, величины их не превышали 1 мг/м<sup>3</sup>.

На рис. 1 представлено распределение нормированных средних суточных концентраций сернистого газа в городе за период наблюдений. Из рисунка видно, что наибольший уровень загрязнения отмечается вблизи основных источников выброса; с удалением от них концентрации уменьшаются. Такое поле концентраций приме-

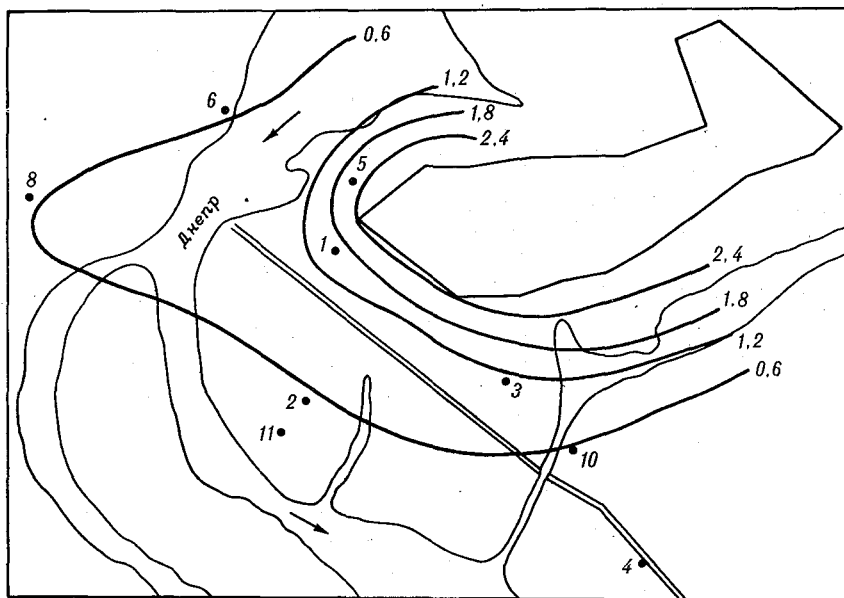


Рис. 1. Распределение концентрации SO<sub>2</sub> по данным газоанализаторов.

сей обусловлено и преобладающим направлением ветра в период наблюдений. При этом четко выявилась зависимость значений концентраций от направления ветра. Так, например, на пункте № 2 повторяемость направлений ветра со стороны источников выбросов при резких увеличениях разовых концентраций составляла 80%, а на пункте № 3 — 90%.

На рис. 2 нанесены «розы загрязнения», которые строились для каждого пункта за весь период измерений аналогично метеорологической розе ветров. При этом за 100% принималось общее количество случаев, превышающих концентрацию 0,1 мг/м<sup>3</sup> (среднюю суточную концентрацию по городу в два раза). Из рис. 2 следует, что «розы загрязнения» каждого пункта направлены своими максимумами к промплощадке, что является доказательством зависимости концентрации сернистого газа от направления ветра. Необходимо отметить также, что высокие концентрации при прочих

равных условиях наблюдались при скоростях ветра, близких к опасным, значения которых составляли 2—4 м/с.

По данным газоанализаторов был рассчитан параметр  $P = \frac{m}{n}$  [2], являющийся характеристикой уровня загрязнения воздуха в городе. Здесь  $n$  — общее число наблюдений в течение рассматриваемого промежутка времени,  $m$  — количество наблюдений за этот же период с концентрациями, превышающими в 1,5 раза средние значения по данным каждого пункта в отдельности. Анализ результатов показал, что величины параметра  $P$ , полученные по газоана-

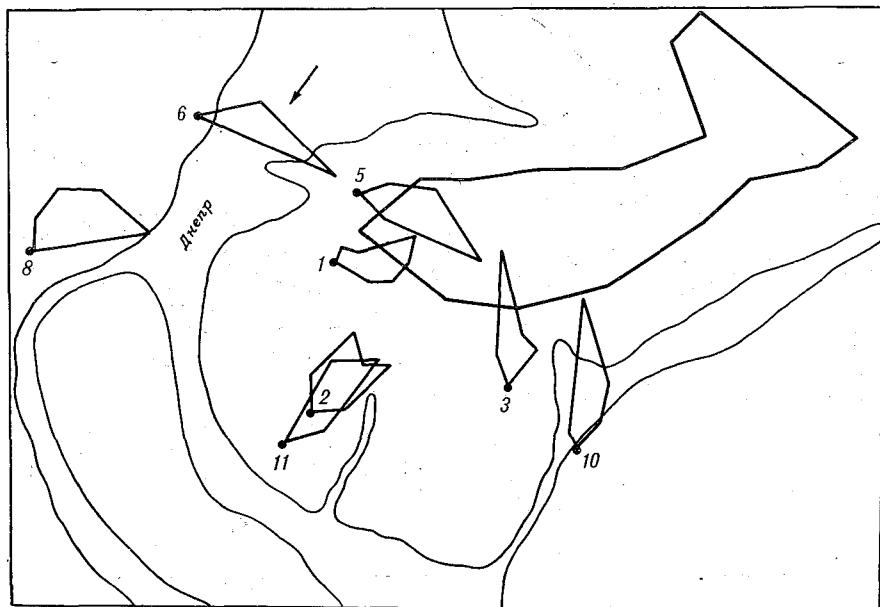


Рис. 2. Зависимость концентрации сернистого газа от направления ветра («розы загрязнения»).

лизаторам, соответствуют изменениям  $P$ , определенным по другим примесям в городе [3].

Данные непрерывной регистрации сернистого газа позволили рассмотреть суточный ход его летом в разных районах города. Для каждого пункта за период наблюдений были рассчитаны средние часовые значения и средние суточные амплитуды концентрации сернистого газа. Оказалось, что средние часовые и средние суточные значения и амплитуда колебаний зависели (при прочих равных условиях) прежде всего от направления ветра и от расстояния пункта до источников выброса. На рис. 3 приводятся осредненные нормированные значения колебаний концентраций сернистого газа в течение суток для 1, 4, 5, 8 и 11 пунктов. Наибольшие изменения отмечались на пункте 5 (составляли 1,8 от средней величины по городу), наименьшие — на пункте 4 (соответственно составляли

0,4), что можно объяснить их расстоянием от источников и направлением ветра. Пункт 5 по сравнению с пунктом 4 находился в два раза ближе к основному источнику. В период наблюдений преобладали северные, восточные и северо-восточные ветры, а западные и северо-западные потоки, при которых примеси от источников переносились на четвертый пункт, отмечались значительно реже. Кроме того, максимальные значения сернистого газа на пункте 5 связаны с его расположением по отношению к источникам: при ветрах восточной четверти действие всех источников суммировалось.

Из рис. 3 следует, что в суточном ходе сернистого газа можно выделить два максимума и два минимума. Максимальные значения отмечались в утренние и вечерние часы, минимальные — ночью и в послеполуденное время. При этом дневной минимум либо близок по величине к ночному, либо глубже его.

Такие колебания сернистого газа в течение суток связаны прежде всего с суточным ходом коэффициента турбулентного обмена, поскольку выбросы сернистого газа оставались примерно стабильными и осуществлялись в основном на высотах порядка 100 м.

В период экспедиции обычно в ночные и ранние утренние часы отмечалась инверсия температуры, которая препятствовала перемешиванию и переносу примеси в нижние слои воздуха. В эти часы наблюдались минимальные концентрации сернистого газа. Утром после восхода Солнца происходило нагревание подстилающей поверхности, разрушение инверсии от ее основания, усиление ветра и рост вертикального градиента температуры. Все это приводило к увеличению высоты слоя перемешивания, к большему поступлению примесей от источников в приземный слой воздуха, следствием чего и являлось образование утреннего максимума (5—12 ч). За счет более интенсивного прогрева и усиления скорости

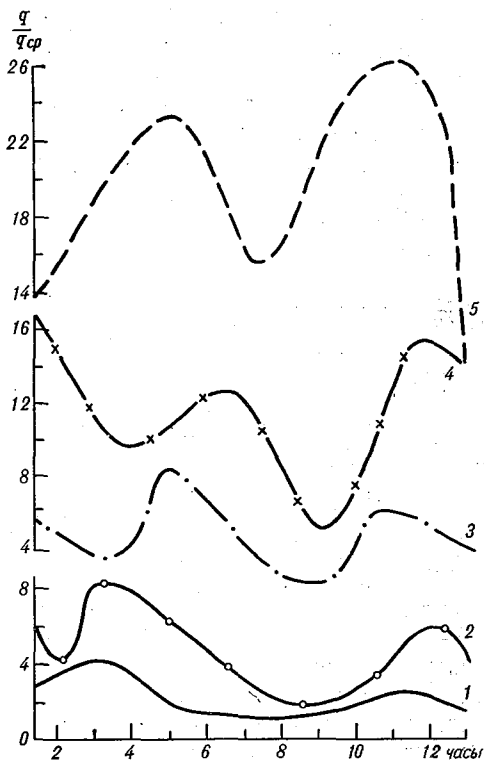


Рис. 3. Суточный ход концентрации сернистого газа.

1 — пункт № 4, 2 — пункт № 11, 3 — пункт № 6, 4 — пункт № 1, 5 — пункт № 5.

ветра (в суточном ходе) коэффициент турбулентности продолжал увеличиваться до максимального значения и то же самое количество выбрасываемого сернистого газа распространялось на значительно большие объемы воздуха. В этот период и отмечается послеполуденный минимум (13—16 ч), величина которого при прочих равных условиях зависит от суточной изменчивости коэффициента обмена. Во второй половине дня вследствие уменьшения вертикального градиента температуры и турбулентного обмена все меньшие слои воздуха участвуют в перемешивании и большее количество примеси от источника поступает к земной поверхности — образуется второй максимум (19—22 ч). Следует отметить, что подобный суточный ход имел и параметр  $P$ , рассчитанный по данным газоанализаторов. В табл. 1 для различного времени суток приводится число случаев с  $P > 0,2$ , что, согласно [2], характеризует повышенный уровень загрязнения воздуха.

Таблица 1

Часы . . . . .	0—3	3—6	6—9	9—12	12—15	15—18	18—21	21—24
Число случаев с								
$P > 0,2$ . . . . .	9	9	15	7	4	5	13	8

Из таблицы следует, что параметр  $P > 0,2$  имел суточный ход с двумя максимумами и двумя минимумами, которые примерно совпадали со временем наступления экстремальных значений сернистого газа.

Таким образом, приведенный нами характер суточного хода сернистого газа обусловлен главным образом изменчивостью коэффициента обмена в течение суток. Согласно данным, полученным в [4], в период экспедиции в ясные дни коэффициент турбулентности в течение суток изменялся в 10—15 раз, в пасмурные дни — в 3—8 раз. Рассмотренный суточный ход относится к средним условиям, для которых характерно преобладание неустойчивой погоды с переменной облачностью кучевых форм, с интенсивной солнечной радиацией, хорошо выраженным суточным ходом коэффициента турбулентности и скорости ветра. При этом повторяемость скорости ветра 1—3 м/с на уровне 1 м составляла около 70%.

В отдельные дни в зависимости от изменения направления и скорости ветра, температурной стратификации, облачности суточные колебания концентраций сернистого газа отличались от приведенных осредненных значений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальдинов Г. В., Коньков С. А. Некоторые результаты автоматической регистрации сернистого газа и пыли.—*Тр. ГГО*, 1969, вып. 238, с. 96—106.
2. Сонькин Л. Р., Денисова Т. Н. Метеорологические условия формирования периодов интенсивного загрязнения воздуха в городах.—*Тр. ГГО*, 1969, вып. 238, с. 33—41.
3. Вдовин Б. И. и др. Метеорологические условия загрязнения воздуха в г. Запорожье в летний сезон.—*См. наст. сборник*.
4. Расторгуева Г. П. Характеристика метеорологического режима приземного слоя воздуха за период экспедиции в Запорожье. *См. наст. сборник*.



*В. З. АЛЬПЕРИН, В. И. АНУФРИЕВ,  
Н. Ш. ВОЛЬБЕРГ, С. А. КОНЬКОВ,  
В. Н. СҚНАРЬ, Я. М. ЧЕРНИН*

## **ВОПРОСЫ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОАНАЛИЗАТОРА ГКП-1**

Для определения содержания в атмосфере двуокиси серы разработан [1] автоматический кулонометрический газоанализатор ГКП-1. Прибор обладает достаточно высокой чувствительностью и точностью, а также обеспечивает измерение в широком диапазоне концентраций. Он позволяет непрерывно регистрировать изменение концентрации сернистого газа в атмосфере.

В процессе опытной эксплуатации модели образца 1966 г. в полевых и лабораторных условиях были выявлены некоторые конструктивные недостатки, снижавшие время непрерывной работы прибора без перезарядки и регулировки до нескольких дней. Некоторые из них, например недостаточная стабильность поддержания расхода воздуха, были устранены внесением небольших конструктивных изменений. Для устранения других пришлось проводить дополнительные исследования.

В системе поддержания стабильности расхода прибора ГКП-1 образца 1966 г. слабым местом являлся сигнализатор расхода газа СРГ-5. Он не обеспечивал сохранения расхода воздуха через ячейку в пределах допустимой погрешности при длительной эксплуатации. Одним из основных элементов сигнализатора, определяющими его работу, являются устройство управления включением побудителя расхода и дроссель, служащий чувствительным элементом. Было установлено, что от вибраций, создающихся при работе побудителя расхода, контакты регулятора смещаются. Это приводило к колебаниям расхода газа с большой амплитудой. В результате проведенной доработки была усилена стойка, на которой крепится контактная группа и улучшено крепление контактных пластин. Одновременно дроссель в виде металлической диафрагмы был заменен на дроссель из часового камня.

Другим наиболее важным недостатком являлось быстрое увеличение сопротивления ячейки потоку анализируемого воздуха, что в течение 7—10 дней приводило к значительному снижению расхода

последнего через прибор и появлению соответствующей систематической ошибки.

Как было выяснено, это вызывалось выпадением кристаллов соли марганца в отверстиях, через которые воздух поступает в камеру измерительного электрода. Ион марганца попадал в камеру через катионитовую мембрану, с другой стороны которой находится камера сравнительного электрода, заполненная смесью двуокиси марганца с порошком угля в растворе серной кислоты. Возможность выпадения сульфата марганца была устранена, с одной стороны, увеличением диаметра отверстия, соединяющего измерительную камеру с большим объемом камеры запасного электролита, а с другой — снижением концентрации серной кислоты в них с 5 до 3%.

Еще одной причиной снижения продолжительности работы прибора без перезарядки ячейки оказалось быстрое уменьшение потенциала сравнительного электрода. Согласно теоретическим расчетам, при концентрациях двуокиси серы, обычно наблюдающихся в атмосфере, запаса двуокиси марганца во вспомогательной камере достаточно для непрерывной работы прибора в течение нескольких месяцев. Вместе с тем потенциал электрода падал ниже допустимых пределов (от 896 до 600 мВ относительно насыщенного каломельного электрода) в течение 7—10 дней.

Потенциал сравнительного электрода определяется уравнением

$$\varphi = \varphi^0 + \frac{RT}{2F} \lg \frac{[H^+]^4}{[Mn^{2+}]}$$

Из уравнения видно, что на величину потенциала оказывает определенное влияние концентрация ионов марганца, однако особенно сильно (в четвертой степени) влияет концентрация водородных ионов. Проверка подтвердила, что у электродов с пониженным потенциалом концентрация кислоты в камере была очень мала (вплоть до почти нейтральной реакции у ячеек, не подвергавшихся перезарядке 20—25 дней). При значительном стехиометрическом избытке двуокиси марганца в камере сравнительного электрода по сравнению с кислотой (более, чем десятикратном), растворение уже небольшой части двуокиси марганца должно оказывать сильное влияние на величину потенциала. В связи с этим представлялось необходимым исследовать скорость самостоятельного растворения двуокиси марганца в кислоте в зависимости от различных условий: наличия и отсутствия угля, его количества, и т. п. Скорость растворения оценивалась путем непосредственного титрования 1 мл пробы раствором трилона-Б в присутствии аскорбиновой кислоты [3]. Полученные результаты представлены на рис. 1.

Из рисунка видно, что наименьшей скоростью растворения обладает чистый пиролюзит без добавок. Реактивная двуокись марганца (ЧДА) растворяется много быстрее. Добавление к пиролюзиту угля значительно увеличивает скорость растворения. Предварительная отмывка смеси пиролюзита с углем 5%-ной серной кислотой, имеющая целью удаление из угля примеси металлов, а из

пиролюзита — наиболее легко растворимой части, не оказывает существенного влияния на скорость растворения.

Как было найдено ранее [1], в данной ячейке может применяться двуокись марганца только в виде активированного пиролюзита в смеси с углем. В конечном итоге было признано оптимальным разбавление пиролюзита углем в соотношении 1 : 4 (вместо принятого ранее 1 : 1), что соответственно уменьшает расход кислоты в камере (рис. 1, кривая 2) и скорость накопления ионов марганца в растворе. Продолжительные измерения потенциала сравнительного электрода показали, что эта мера, хотя и приводит к некоторому уменьшению первоначального потенциала (до 840—860 мВ), но обеспечивает более длительное сохранение его величины в допустимых условиях, в среднем до 20—30 дней. Следует отметить, что этот срок практически не зависит от того, использовался ли прибор все это время, или находился в нерабочем состоянии.

Газоанализаторы, изготовленные с учетом результатов проведенной работы, были подвергнуты испытаниям, которые проводились в несколько этапов: 1) испытания на соответствие требованиям ТУ, 2) промышленные испытания, 3) государственные испытания.

Общее время всех этапов испытаний составило четыре месяца. На испытания были представлены три прибора. Заправка ячеек химическими реактивами была проведена на первом этапе. В процессе проведения следующих этапов лишь проводилась дозаправка иодом и дистиллированной водой.

Государственные испытания проводились в течение 10 дней. За это время были определены следующие параметры: 1) основная погрешность, 2) колебания величины остаточного тока, 3) стабильность расхода газа, 4) величина потенциала сравнительного электрода, 5) динамические характеристики.

Для проверки основной погрешности использовалась газосмесительная установка, схема которой приведена на рис. 2. Работа установки основана на дозировании раствора сернистого газа в поток балластного газа. Основным элементом схемы является

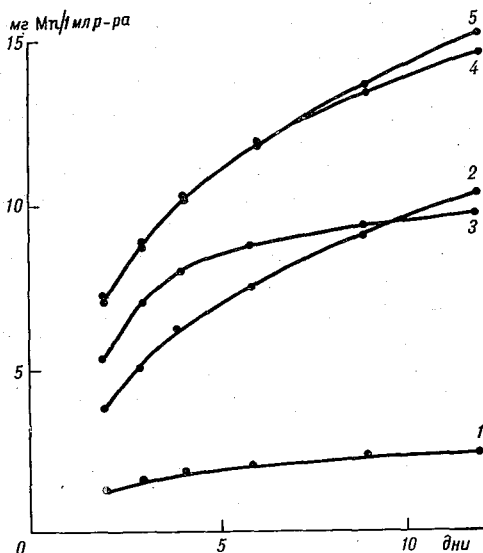


Рис. 1. Кривые растворения двуокиси марганца при различных составах электродных масс.

1 — чистый пиролюзит; 2 — смесь пиролюзита с углем 1 : 4 по объему; 3 — реактивная двуокись марганца ЧДА; 4 — смесь 1 : 1, отмытая кислотой; 5 — смесь 1 : 1.

смесительная трубка 12, в которой происходит образование газовой смеси, содержащей определенное количество сернистого газа. Все коммуникации выполнены из стеклянных или фторопластовых трубок. Соединение трубок осуществляется полихлорвиниловыми муфтами. Бутыль 9, игольчатый вентиль 10 и капельница 4 предназначены для подачи раствора сернистого газа в воде в трубку 12. Балластный газ подается навстречу потоку раствора и выдувает растворенный в нем газ. Бутыль 13 служит для сбора отработанного раствора. Для определения величины концентрации двуокиси серы использовался образцовый прибор, чувствительным элементом которого являлась электрохимическая ячейка типа III [1]. Погрешность аттестации составляла 2% [2].

Определение основной погрешности проводилось на четырех диапазонах измерения. Перед подачей концентраций сернистого газа на вход приборов поступал чистый воздух и проводилось измерение фоновых токов. Изменяя расход раствора вентилем, устанавливали требуемый уровень концентрации сернистого газа. Основную погрешность определяли как разность установившихся показаний поверяемого и образцового приборов. На каждой концентрации сернистого газа производилось несколько измерений (не менее пяти) с интервалом 5 мин. Оценка погрешности проводилась по наибольшему отклонению на каждом диапазоне измерения. Результаты измерений приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Диапазон измерения, мг/м <sup>3</sup>	Максимальная погрешность, %		
	прибор 1	прибор 2	прибор 3
0—1	4	2	2
0—2	3	2	2
0—5	1	2	2
0—10	3	3,5	4

Таблица 2

Время испытаний, сутки	Величина фонового тока, % от первого диапазона измерения		
	прибор 1	прибор 2	прибор 3
1	2	3	3
2	3	4	3
3	2	2	2
4	3	3	3
5	2	2	—

Из таблицы следует, что основная погрешность испытываемых газоанализаторов не превышала  $\pm 4\%$ .

Проверка колебаний величины фонового тока проводилась ежедневно в течение всего периода испытаний. Величина его не превышала 4% от максимального значения шкалы первого диапазона измерения (табл. 2).

Результаты измерения стабильности заданного расхода газа сведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, погрешность поддержания расхода не превышала  $\pm 5\%$ .

Определение динамических характеристик производилось путем анализа переходных процессов на выходе прибора при ступенчатом изменении концентрации сернистого газа. С помощью секундомера измеряли время между моментом изменения концентрации

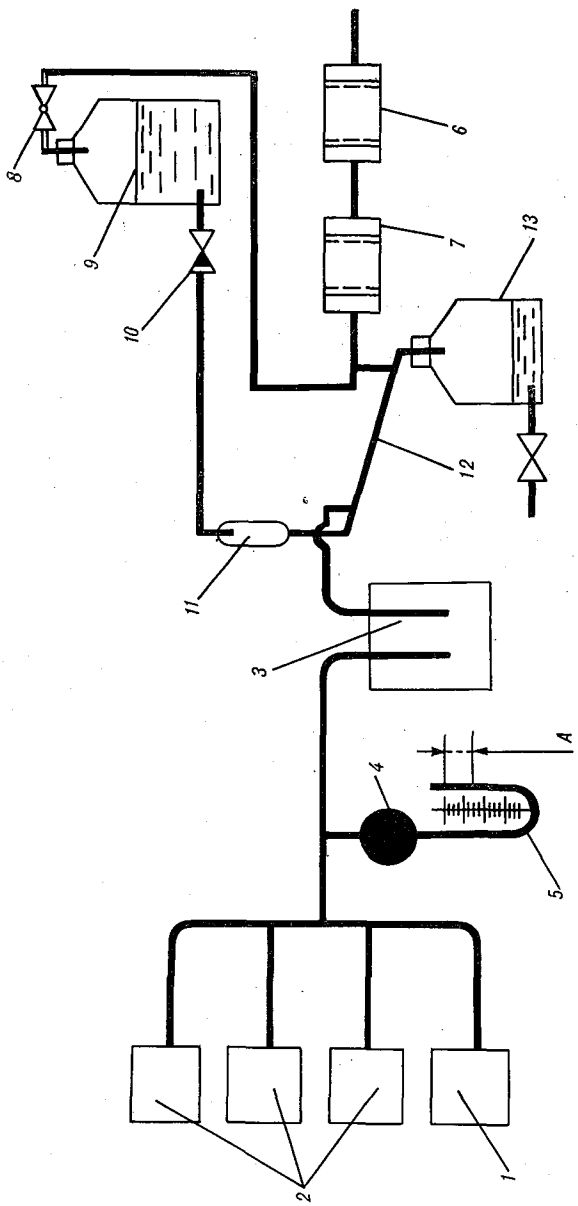


Рис. 2. Установка для получения газовых смесей.

1 — эталонный прибор, 2 — проверяемые приборы, 3 — буферная емкость на 2 л; 4 — кран, 5 — U-образный водяной манометр на 200 мм вод. ст., 6 — фильтр угольный, 7 — фильтр Петрянова, 8 — кран, 9 — емкость напорная, 10 — вентиль-дозатор, 11 — капельница, 12 — трубка-смеситель, 13 — сборная емкость; А — не более 40 мм вод. ст. при расходе 200 л/ч.

Таблица 3

Время, сутки	Расход газа, л/ч		
	прибор 1	прибор 2	прибор 3
1	49,3	49,2	50,5
2	48,0	48,6	49,6
3	48,6	48,9	48,1
4	48,7	50,4	50,9
5	47,3	48,4	—
6	49,4	50,2	47,9
7	48,5	50,8	47,7

Таблица 4

Величина изменения концентра- ции, мг/м <sup>3</sup>	$\tau$ с	$T_{5\%}$ с	$T$ с
Прибор 2			
0,49	4	150	27
2,6	4	150	27
6,7	4	54	16
Прибор 3			
0,49	5	240	35
0,7	3	120	23

и началом реагирования прибора  $\tau$ . Реакции прибора регистрировались на электронном потенциометре при скорости протяжки ленты не менее 120 мм/ч. По записи переходного процесса определяли время установления показаний  $T_{5\%}$  и постоянную времени  $T$ . Так как отклонение динамических характеристик для положительных и отрицательных скачков концентрации не превышало 20% на одном уровне концентрации, то полученные значения усреднялись. Результаты приводятся в табл. 4.

По данным проведенных испытаний газоанализаторов ГКП-1 образца 1972 г. их характеристики и параметры вполне соответствуют техническим условиям.

В заключение следует заметить что, хотя проведенные работы позволили довести время непрерывной работы прибора без перезарядки и подстройки до месяца и даже более, в реальных условиях при непрерывной работе прибора для получения правильных и надежных результатов необходимо своевременное проведение ряда профилактических операций, не сопровождающихся выключением газоанализатора. К ним относятся в первую очередь еженедельная дозаправка ячейки иодом и дистиллированной водой (при работе в нормальных условиях, но раз в 3—4 дня при температурах 35—45°) и ежедневный контроль нулевой линии при измерении малых концентраций двуокиси серы (дающих сигнал, соизмеримый с уровнем фонового тока).

Полная перезарядка ячейки, фильтров, а также промывка газовых коммуникаций может производиться раз в месяц.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альперин В. З., Филиппов Г. М. Исследование и выбор оптимальных параметров кулонометрических ячеек с непроточным электролитом.— «Автоматизация химических производств», 1969, вып. 6, с. 87.
2. Чернин Я. М. и др. К вопросу о проверке кулонометрических приборов. вып. 2, 1969. 66 с.
3. Шварценбах Г., Флашка Г. Комплексонометрическое титрование. М., 1970. 360 с.

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ЗАПЫЛЕННОСТИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА

Проблеме исследования атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы промышленными выбросами в настоящее время уделяется большое внимание. При этом систематический контроль за уровнем концентрации вредных примесей в воздухе, в частности пыли, является основой для проведения исследований и обоснования мероприятий по уменьшению уровня загрязнения атмосферы. Содержание пыли в атмосфере определяется как величиной выбросов промышленных предприятий, так и интенсивностью поступления ее от природных источников [1].

Наиболее распространенным методом определения весовой концентрации атмосферной пыли является аспирационный метод. Однако процесс взвешивания фильтров на аналитических весах требует больших затрат времени, а точность невелика. Кроме того, процесс взвешивания весьма трудно автоматизировать.

Из известных методов более перспективными, позволяющими автоматизировать процесс измерений, являются фотометрический и радиометрический методы определения количества пыли, осаждаемой на фильтр. Фотометрический метод определения весовой концентрации пыли основан на регистрации изменения оптической плотности фильтра в зависимости от величины навески аэрозоля твердой фазы на нем.

Для исследования запыленности атмосферы промышленного города нами был использован автоматический электрофотометрический пылемер (ЭФП). Регистрация концентрации пыли производилась заборником, который обеспечивает аспирацию воздуха через фильтр, накопление на нем пыли и перемотку ленточного фильтра. Дальнейший весовой и фотометрический анализ производился в лаборатории.

Устройство для фотометрической обработки фильтровальной ленты состоит из лентопротяжного механизма и регистрирующего фотометра, в котором использовалась простейшая дифференциаль-

ная схема. В качестве чувствительных элементов в ней использовались фотоспротивления ФСК-2, а осветителем служила лампа накаливания 8В. Сигнал разбаланса подавался на вторичный регистрирующий прибор. Для испытания методики отбора проб проводился на тонковолокнистый ленточный фильтр марки ЛФС или НЭЛ [2]. Скорость протяжки фильтра составляла 6 см/ч, размер щели 10×30 мм, время экспозиции каждого участка фильтра 10 мин. Аспиратор обеспечивал расход воздуха 50 л/мин при питании от сети переменного тока 220 В. По экспериментальным данным метод дает возможность измерять концентрацию пыли от 0,1 до 1 мг/м<sup>3</sup>. Основная погрешность ±10% от верхнего значения шкалы.

Используемый в пылемере ЭФП тонковолокнистый фильтр обладает способностью растворяться в ксилоле, что может быть использовано для микроскопического анализа проб воздуха, взятых на этот фильтр. Коэффициент преломления просветленного фильтрующего слоя равен коэффициенту преломления стекла, специального состава, поэтому микроскопическое изучение частиц пыли можно провести без фона и определить счетную концентрацию и дисперсный состав пыли в атмосфере.

При микроскопическом исследовании подсчитывалось число частиц пыли различного размера в произвольно выбранных полях зрения микроскопа и в различных участках пробы. Счетная концентрация частиц вычислялась по формуле

$$N = \frac{nS}{sV},$$

где  $n$  — число частиц пыли, радиус которых лежит в заданном диапазоне, сосчитанное под микроскопом;  $S$  — размер входной щели пробоотборника,  $s$  — площадь фильтра, исследованного под микроскопом,  $V$  — объем протянутого через данный участок фильтра воздуха.

Результаты подсчета частиц различного размера представляются в виде кривых дисперсности или спектров распределения частиц по размерам.

Для определения запыленности атмосферы промышленного г. Запорожья ЭФП был установлен в центре города, на расстоянии 1,5 км к югу от промышленной площадки. Пробоотборник находился на высоте 2 м от поверхности земли, на открытой площадке.

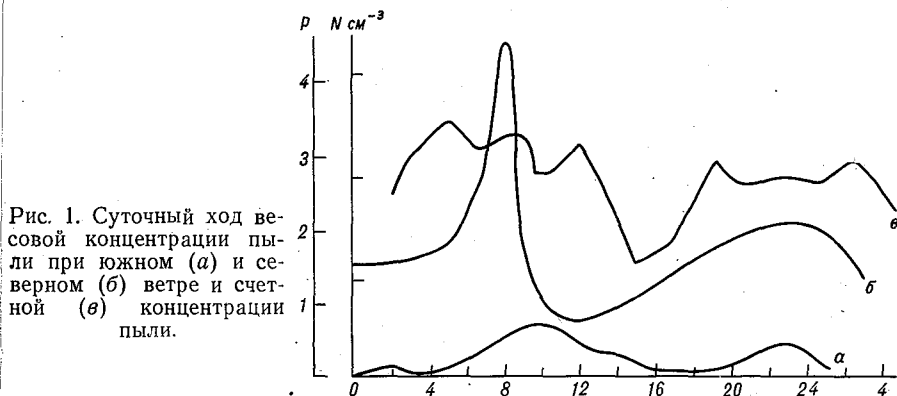
По результатам измерений запыленности воздуха с помощью ЭФП был получен: 1) суточный ход весовой концентрации пыли при различных метеорологических условиях, 2) суточный ход счетной концентрации пыли, 3) дисперсный состав пыли в различные дни.

Измерения показали, что весовая концентрация пыли имеет суточный ход с двумя максимумами: первый — в утренние, второй — в ночные часы. В послеполуденное время запыленность воздуха значительно уменьшается. Суточный ход весовой концентрации можно связать с колебаниями выбросов промышленных предприя-



тий в течение рабочего времени и с ходом интенсивности вертикального перемешивания воздуха, обуславливающего перенос пыли. Послеполуденное уменьшение запыленности объясняется наиболее интенсивным турбулентным обменом воздуха в это время.

Анализ полученных результатов показал, что суточный ход весовой концентрации пыли в исследуемом районе зависит от скорости и направления ветра. Северные направления ветра (С, СВ, СЗ) значительно увеличивают весовую концентрацию пыли по сравнению с концентрацией при южном ветре. Это отчетливо видно на рис. 1, где кривые *a* и *б* отображают суточный ход запыленности при южном и северном ветрах соответственно. Влияние направления ветра на концентрацию пыли обусловлено взаиморасположением пункта и промышленной площадки города. Суточный



ход запыленности воздуха зависит не только от направления, но и от силы ветра. Из анализа проведенных измерений можно сделать вывод, что усиление ветра приводит к нарушению нормального суточного хода, обычного при штилевых условиях. В этих случаях наблюдалось отсутствие послеполуденного минимума и изменения в суточном ходе запыленности воздуха тем больше и многочисленнее, чем сильнее ветер.

Нужно отметить, что суточный ход запыленности отчасти повторяет суточный ход относительной влажности воздуха, но наблюдается смещение утреннего максимума влажности на 3—5 ч раньше максимума в суточном ходе запыленности. Влажность воздуха, как показывают измерения, оказывает существенное влияние на запыленность атмосферы. Наблюдались случаи, когда при южном направлении ветра и малой весовой концентрации пыли в воздухе микроскопический анализ проб воздуха в это же время дает высокую счетную концентрацию частиц пыли размером 0,7—2,0 мкм. Счетная концентрация пыли этих размеров в таких случаях одного порядка со счетной концентрацией пыли тех же размеров в дни с повышенной весовой концентрацией и отмеченным явлением дымки. Это увеличение количества пылинок размером 0,7—2,0 мкм

можно объяснить укрупнением ядер конденсации до размеров, видимых оптическим микроскопом, благодаря влиянию сил сцепления при высокой влажности воздуха (рис. 2 а).

В дни с высоким значением запыленности отмечается резкое увеличение не только мелких, но и крупных частиц, которые, собственно, и вносят основной вклад в весовую концентрацию пыли. В случае, когда в воздухе наблюдается повышенная запыленность, дисперсная кривая имеет значительное отклонение от обычного распределения по размерам пылевых частиц в атмосфере [3], которое проявляется в увеличении концентрации частиц размером  $>3$  мкм (рис. 2 б, в).

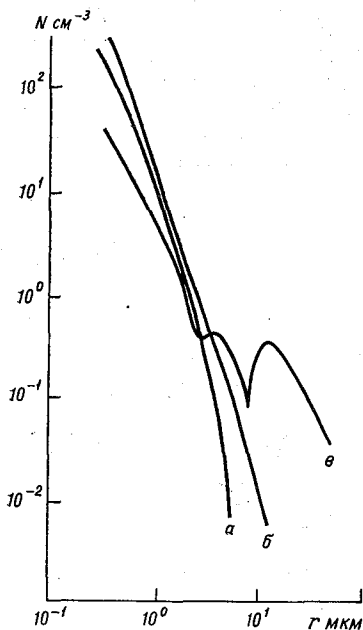


Рис. 2. Спектр распределения частиц пыли по размерам при различных метеорологических условиях.

а — в ясную погоду, б, в — при ухудшенной видимости, дымке.

На рис. 1 в показан суточный ход счетной концентрации частиц размером 0,5—2,0 мкм в дни с отмеченным явлением дымки. Видно, что счетная концентрация частиц так же, как и весовая концентрация частиц, имеет два максимума в течение суток, в утренние и вечерние часы. В дни с пониженной видимостью счетная концентрация пыли размером 0,5—2,0 мкм на три порядка выше средней концентрации пыли этого размера в воздухе [4]. Эти результаты измерений согласуются с выводами ряда исследователей [5 и др.] о том, что наибольшее ухудшение атмосферной видимости связано с частицами диаметром 0,2—2,0 мкм.

Таким образом, измерения запыленности атмосферы промышленного города с помощью автоматического

электрофотометрического пылемера ЭФП показали возможность дальнейшего использования фотометрического метода для автоматической регистрации весовой концентрации пыли. Прибор ЭФП можно использовать также и для анализа спектра частиц пыли в воздухе по размерам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянд М. Е., Оникул Р. И. Физические основы расчета рассеивания в атмосфере промышленных выбросов.— «Тр. ГГО», 1968, вып. 234, с. 3—27.
2. Спурный К., Йех и др. Аэрозоли. М., Атомиздат, 1964.
3. Юнге Х. Химия и радиоактивность атмосферы. «Мир», 1965. 424 с.
4. Боровиков А. М., Гайворонский И. И. и др. Физика облаков. Л., Гидрометеониздат, 1961. 459 с.
5. Hidy G. M., Friedlander L. The Nature of the Los-Angeles aerosol, 1970.

*Г. А. ПАНФИЛОВА, Б. Н. ПЬЯНЦЕВ,  
Т. А. КУЗЬМИНА*

## **ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФТОРИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОД ФАКЕЛОМ ДНЕПРОВСКОГО АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА**

В августе—сентябре 1972 г. в г. Запорожье проводились экспериментальные работы по изучению закономерностей рассеивания фтористых соединений от Днепровского алюминиевого завода (ДАЗа).

Аналогичные работы велись ранее в разных городах страны в районах тепловых электростанций, предприятий вискозного волокна, глиноземно-цементного промышленного комплекса [3, 4, 6, 8].

Промплощадка ДАЗа располагалась в 2 км южнее водохранилища, практически в центре города.

Город Запорожье и его окрестности, прилегающие к р. Днепру, имеют слабовыраженный холмистый рельеф со средним перепадом высот от 30 до 60 м. Основными источниками выделения фтористых соединений (фтористого водорода и твердых фторидов) на ДАЗе являлись электролизное и электротермическое производства.

Организованные выбросы фтористых соединений осуществлялись через три трубы (одна труба высотой 70 м, одиннадцать труб по 30—40 м и восемь аэрационных фонарей длиной 150 м с высотой выброса по 18 м). Температура выбрасываемых газов из высоких источников была около 60°, а температура низких выбросов от 25 до 30°, т. е. последние практически не обладали сколь угодно существенным перегревом относительно окружающего воздуха.

Отбор проб воздуха проводился под факелом на фтористый водород и твердые фториды в городе и его окрестностях, начиная от участков, непосредственно прилегающих к территории завода, и далее до расстояний 20 км (0,3; 0,5; 0,6; 0,7; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 15; 19; 20 км) от центра промплощадки. Измерение концентраций фтористого водорода и твердых фторидов проводилось ежедневно, кроме воскресений, в течение 6 ч по

скользящему графику, с 6 до 21 ч, позволявшему исследовать влияние суточного хода метеоэлементов на рассеивание примесей.

Пробы отбирались одновременно на двух-трех дистанциях в трех-четыре пункта на каждой по ширине факела. В течение 20 мин наблюдений каждый пробоотборщик брал по две параллельные пробы на фтористый водород и твердые фториды на уровне 1,5 м от поверхности земли. Метод отбора проб воздуха на вредные примеси подробно описан в [3].

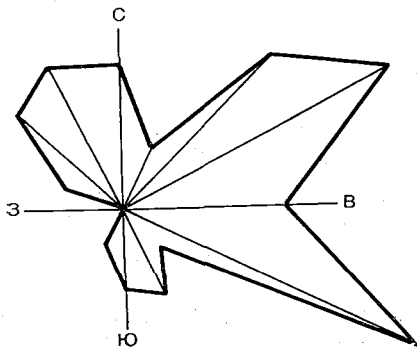


Рис. 1. Количество проб (%), отобранных при различных направлениях ветра.

Химическая методика определения фтористого водорода в атмосфере изложена в [5, 7].

Обследуемый факел был фактически неразличим на фоне неба уже на расстоянии 1 км, поэтому при определении направления переноса ориентировались по факелам от других близко расположенных промышленных предприятий. При плохой видимости и закрытом горизонте, особенно при измерениях на дальних дистанциях, указания о размещении пунктов под факелом и синхронизация наблюдений осуществлялись руководителями отбора с помощью полевых радиостанций.

Кроме того, круглосуточно велись метеорологические и аэрологические исследования приземного слоя атмосферы, о которых подробно рассказано в [2, 9].

В период отбора проб воздуха в 500-метровом слое атмосферы преобладали неустойчивая стратификация (40% проб) или приземные инверсии температуры (42%), равновесная стратификация наблюдалась в 4% случаев, приподнятые инверсии — в 14% случаев. Наибольшее количество проб было взято при температурах воздуха на высоте 2 м 20—35° (табл. 1) и скоростях ветра на высоте флюгера 3—6 м/с (табл. 2) при направлениях восточной четверти (рис. 1). За период экспедиции всего было отобрано почти 6500 проб (табл. 3).

Таблица 1

$t^{\circ}$ . . . . .	15—20	20—25	25—30	30—35	35—40
Количество проб, % . . . . .	11	26	38	24	1

Таблица 2

$u$ м/с . . . . .	1—2	2—3	3—4	5—6	6—7	7—8	8—9
Количество проб, % . . . . .	1	11	22	19	23	14	9 1

Максимальные концентрации как фтористого водорода, так и твердых фторидов отмечались в районах, непосредственно приле-

гающих к промплощадке, что, несомненно, связано с сильным влиянием низких выбросов из аэрационных фонарей, а также неорганизованных выбросов. С удалением от завода заметна тенденция к медленному убыванию концентрации. Наибольшие значения концентраций фтористого водорода и твердых фторидов наблюдались в дневные сроки.

Таблица 3

**Количество проб на фтористый водород и твердые фториды на разных расстояниях от центра промплощадки**

Расстояние, км	Фтористый водород	Твердые фториды	Расстояние, км	Фтористый водород	Твердые фториды
0,3—0,7	197	201	9	169	166
1	332	336	10	119	115
1,5	221	219	11	83	82
2	146	149	12	185	181
3	327	335	13	30	30
4	300	381	15	137	161
5	218	215	19	54	55
6	129	110	20	24	24
7	305	307			
8	155	141	Σ	3221	3208

Полученные данные показывают, что на расстояниях, близких к центру промплощадки, опасные скорости ветра, в соответствии с [1], составляли 2—4 м/с, а на дальних расстояниях — 5—6 м/с.

Было рассмотрено распределение концентраций фтористого водорода и твердых фторидов с удалением от алюминиевого завода при преобладающих направлениях ветра: восточной четверти (70% от общего числа случаев) и северо-западной четверти (около 20% проб). На рис. 2. представлено распределение средних и максимальных концентраций фтористого водорода, нормированных на его выброс, для преобладающих направлений ветра.

Максимальные концентрации при ветрах северо-западной четверти были ниже, чем при ветрах восточных направлений. Однако это по крайней мере отчасти объясняется гораздо меньшим количеством проб, взятых при северо-западных ветрах. Средние концентрации фтористого водорода при исследуемых направлениях ветра были близки между собой. Средние концентрации под факелом при рассматриваемых направлениях ветра всего в два-три раза меньше максимальных концентраций, что указывает на устойчивость факела. Характер изменения средних концентраций с расстоянием почти такой же, как и максимальных значений. При направлениях ветра, указанных выше, на расстоянии 1—1,5 км от центра промплощадки алюминиевого завода существует кольцевая зона несколько пониженных приземных концентраций фтористого водорода. Возможно, это объясняется тем, что влияние низких и

неорганизованных выбросов здесь уже уменьшается, а концентрации за счет выбросов из высоких труб, как показали расчеты по [1] достигают максимума на более дальних расстояниях, 2,2—2,5 км от завода. Измерения в ряде случаев указывают на некоторое убы

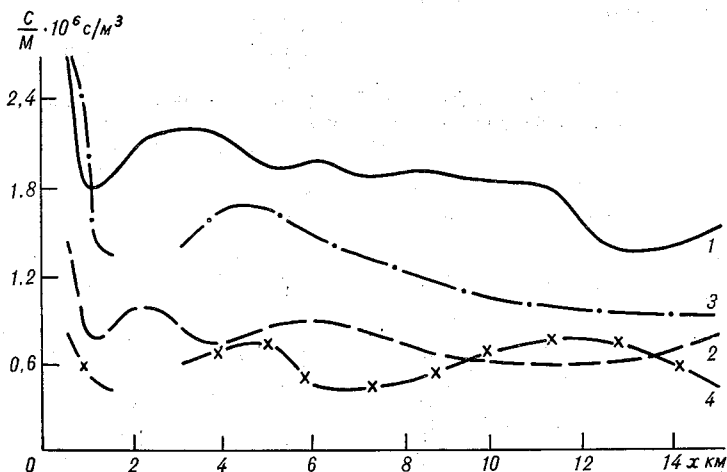


Рис. 2. Распределение с расстоянием от завода нормированных максимальных (1, 3) и средних (2, 4) концентраций фтористого водорода при основных направлениях ветра.

1, 2 — при ветрах восточной четверти, 3, 4 — при ветрах северо-западных направлений.

вание концентраций в прибрежной зоне. Проводились визуальные наблюдения под факелом, которые показали его частичное опускание в случае движения над водной поверхностью в ночные и утренние часы (при восточных ветрах) и облакообразное скопление вредных выбросов над расположенными в нескольких километрах от завода двумя обширными балками.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянд М. Е., Оникул Р. И. К обобщению теории рассеивания промышленных выбросов в атмосферу.— «Тр. ГГО», 1971, вып. 254, с. 3.
2. Васильченко И. В., Вдовин Б. И. Некоторые особенности стратификации и термического режима пограничного слоя атмосферы над городом.— См. наст. сборник.
3. Вдовин Б. И. и др. Экспериментальные исследования рассеивания в атмосфере холодных вентиляционных выбросов предприятий вискозного волокна.— «Тр. ГГО», 1971, вып. 254, с. 57.
4. Вдовин Б. И. и др. Изучение закономерностей рассеивания в атмосфере выбросов от глиноземно-цементных промышленных комплексов.— «Тр. ГГО» 1973, вып. 293, с. 240.

5. Вольберг Н. Ш., Кузьмина Т. А. Определение фтористого водорода в атмосфере с отбором проб на твердый сорбент.—«Тр. ГГО», 1973, вып. 293, с. 78.
6. Гильденскиольд Р. С. и др. Результаты экспериментальных исследований загрязнения атмосферы в районе Молдавской ГРЭС.—«Тр. ГГО», 1968, вып. 207, с. 65.
7. Кузьмина Т. А., Вольберг Н. Ш. Определение фтористого водорода в атмосферном воздухе.—«Тр. ГГО», 1971, вып. 254, с. 172.
8. Оникул Р. И. и др. Результаты анализа экспериментальных данных, характеризующих распределение атмосферных загрязнений вблизи тепловых электростанций.—«Тр. ГГО», 1965, вып. 172, с. 23.
9. Расторгуева Г. П. Характеристика метеорологического режима приземного слоя воздуха за период экспедиции в г. Запорожье.—См. наст. сборник.

*Л. С. ИВЛЕВ, Е. Г. ГОЛОВИНА, В. И. ДМОХОВСКИЙ,  
В. А. ИВАНОВ, В. В. МАРТЫШЕВ, А. Ю. СЕМОВА,  
В. К. СОЛОМАТИН, В. Я. СИХАРУЛИДЗЕ*

## **ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ АЭРОЗОЛЯ В ПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ г. ЗАПОРОЖЬЯ**

Особенности структуры аэрозоля в районе г. Запорожья связаны в основном с наличием мощных источников аэрозоля (причем значительная часть его выбрасывается в атмосферу на значительной высоте) и со своеобразием подстилающей поверхности города.

Первый тип источников аэрозоля — трубы промышленных предприятий выбрасывают специфические аэрозольные частицы — частицы дыма, окислов металлов, серы и сернистых соединений. Ко второму типу источников относятся городская поверхность, в значительной степени не асфальтированная, промышленные стройки и выхлопы от автомобилей. Кроме того, аэрозоль образуется также в результате химических и фотохимических реакций сернистого газа, озона, водяного пара и твердых аэрозольных частиц между собой. Этому третьему типу источников принадлежит основная роль в образовании городского смога. Деятельность всех этих источников загрязнения имеет достаточно отчетливо выраженный суточный ход. Своеобразие городской подстилающей поверхности сказывается в наличии городских построек, которые препятствуют равномерному распределению аэрозоля в горизонтальном направлении и способствуют появлению слоистости в вертикальном распределении аэрозоля. Кроме того, большая поглощающая способность городской поверхности (асфальт) приводит к появлению повышенной конвекции и возникновению инверсий в ночное время.

Рассмотрим теперь некоторые особенности структуры промышленного аэрозоля.

### **1. Концентрация аэрозоля**

Для Запорожья характерна сильная пространственная неоднородность аэрозоля. Одновременные измерения аэрозоля в разных точках города в приземном слое показали, что различия в весовой



концентрации достигают почти двух порядков величины. Весовая концентрация изменяется от 0,05 мг/м<sup>3</sup> (пансионат «Волна») до 2,0 мг/м<sup>3</sup> (центр города), а счетная концентрация больших аэрозольных частиц ( $r \geq 0,2$  мкм) колеблется от 10 до 200 см<sup>-3</sup>. Это же характерно и для вертикальной структуры аэрозоля. В приземном слое измерения, проведенные на 20-метровой вышке, показали повышение концентрации аэрозоля на высоте 10—15 м в полтора-два раза по сравнению с данными на высотах 1,5—2 м. Единичные измерения на телевышке (до 150 м) и вертолете (до 300 м) также показывают, что имеют место слои повышенной концентрации частиц на высоте больше 100 м. Концентрация частиц на этих высотах может даже превышать концентрацию аэрозоля в приземном слое. Основная масса частиц на этих высотах промышленного происхождения.

Слоистость вертикальной структуры аэрозоля наблюдается и на больших высотах в тропосфере. Над городом висит дымовой купол высотой не менее 3—4 км. Концентрация больших аэрозольных частиц внутри него даже на высотах, где не наблюдаются максимальные значения концентрации частиц, превышает концентрацию естественного фона в несколько раз, причем наблюдается заметная горизонтальная неоднородность распределения аэрозоля: повышение концентрации частиц с подветренной стороны. Для примера приведем данные по содержанию аэрозоля в тропосфере, полученные при зондировании на самолете ИЛ-18 21 VIII 1972 г. с 11 ч 30 мин до 13 ч 00 мин (табл. 1). Заборы проб брались при полетах на высотах 500, 1350, 2850 и 5500 м над городом в направлении с юга на север. Точка забора 1 — самая южная, точка 4 расположена над основным источником загрязнений, расстояние между

Таблица 1

Концентрация аэрозольных частиц в тропосфере над г. Запорожьем  
21 VIII 1972 г., 11 ч 30 мин — 13 ч 00 мин

Точка отбора	Н м	Диапазон размеров частиц, мкм					
		0,3—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,5	2,5—3,75	3,75—7,5
1	500	9,47	2,640	0,6640	0,1575	0,0203	—
2	500	8,87	2,830	0,8340	0,1055	0,0324	—
3	500	7,80	3,380	0,6500	0,1420	0,0203	0,0121
4	500	6,55	3,790	0,6750	0,0769	0,0040	0,0040
5	500	2,50	1,135	0,2760	0,0081	—	—
4	1350	5,00	2,230	0,1870	0,0121	0,0121	—
3	1350	10,05	1,135	0,2420	0,0688	0,0324	—
1	1350	9,00	0,885	0,1060	0,0203	0,0162	0,0040
1	2850	5,85	0,589	0,0800	0,0324	0,0121	0,0040
3	2850	7,50	0,755	0,1230	0,0324	0,0040	—
	2850	5,00	1,035	0,0170	0,0121	—	—
	5500	1,50	0,468	0,0765	0,0203	0,0040	—
	5500	0,24	0,103	0,0340	—	—	—

точками  $\sim 10$  км. Направление ветра северо-северо-восточное. Отчетливо проявляется влияние промышленных источников загрязнений даже на высоте 5500 м, причем хорошо заметен «факел» на протяжении нескольких десятков километров по направлению ветра.

Хорошо выражен также суточный ход концентрации аэрозоля как в приземном слое, так и в тропосфере. Характерно наличие двух максимумов концентрации в приземном слое: в утренние часы, наиболее сильные при безветренной погоде, и в вечерние часы. В некоторых случаях рост концентрации аэрозоля происходит в течение всего дня. Обычно это происходит в дни, когда над городом наблюдаются сплошная облачность, безветрие и слои инверсии или изотермии в нижней тропосфере. В этом случае аэрозольные частицы скапливаются в нижних приземных слоях атмосферы в течение всего дня и наблюдаются смоговые явления. Суточный ход тропосферных слоев над городом обсуждается в работе [1].

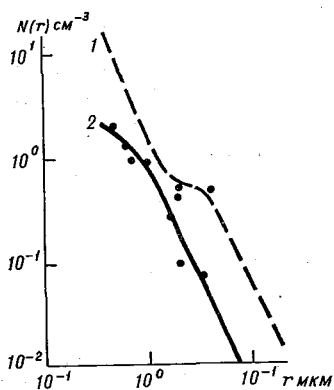


Рис. 1. Вымывающее действие парковой растительности. 23 VIII 1972 г.

1 — измерения на открытом участке (поле), 2 — в лиственном парке.

Сильное влияние на содержание городского аэрозоля в приземном слое оказывает «вымывающее» действие препятствий: построек и растительности. Почти во всех градиентных измерениях концентрация аэрозоля вблизи поверхности уменьшается с высотой измерений (в слое 0—10 м). На рис. 1 проиллюстрировано вымывающее действие парковой растительности. Расстояние между точками измерений  $\sim 250$  м. Высота лиственных деревьев в районе парка, где проводились измерения, 3—4 м, плотность посадки — 25—30 деревьев на  $100 \text{ м}^2$ .

## 2. Дисперсность и микроструктура частиц

Наличие мощных источников аэрозольных частиц со специфическими свойствами приводит к особенностям в распределении их по размерам. Реальные распределения практически всегда далеки от описываемых формулой Юнге. Даже в дни с относительно слабым загрязнением наблюдается увеличенное содержание частиц в диапазоне размеров  $r=3\div 20$  мкм. Величина и положение этого вторичного максимума в распределении частиц по размерам определяется как местом измерений (рис. 2 и 3), так и временем суток (рис. 4). Поздним утром и днем достаточно устойчиво наблюдается максимум в диапазоне размеров  $r=3\div 10$  мкм, вероятно, в основном дисперсионного происхождения (поверхность города,

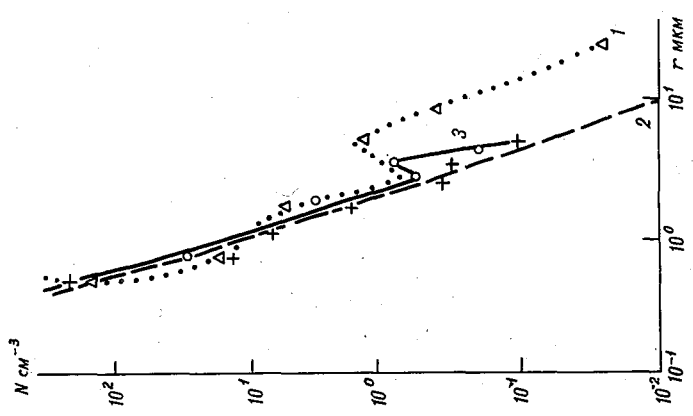


Рис. 2. Дисперсность аэрозоля в приземном слое в разных точках г. Запорожья.

1 — 29 VIII, 8 ч 30 мин — 8 ч 50 мин, пункт № 9; 2 — 29 VIII, 12 ч 00 мин — 12 ч 20 мин, пункт № 10; 3 — 29 VIII, 9 ч 10 мин — 9 ч 30 мин, пункт № 11.

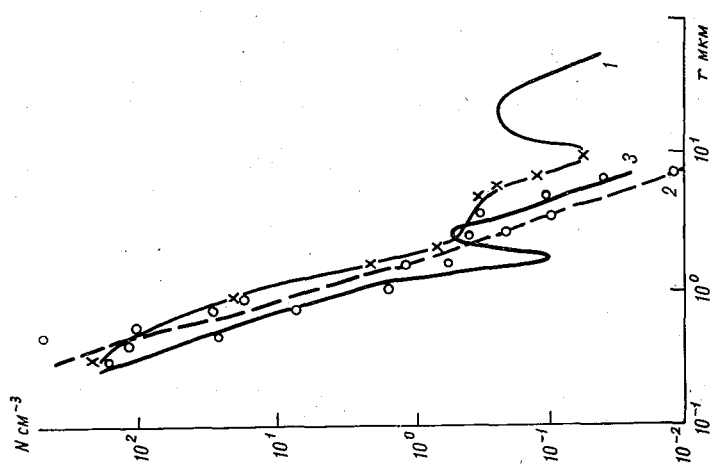


Рис. 3. Дисперсность аэрозоля в разных точках города.

1 — под факелом, 29 VIII; 2 — на территории завода, 1 IX; 3 — на пункте № 11 (центр города) 11 VIII.

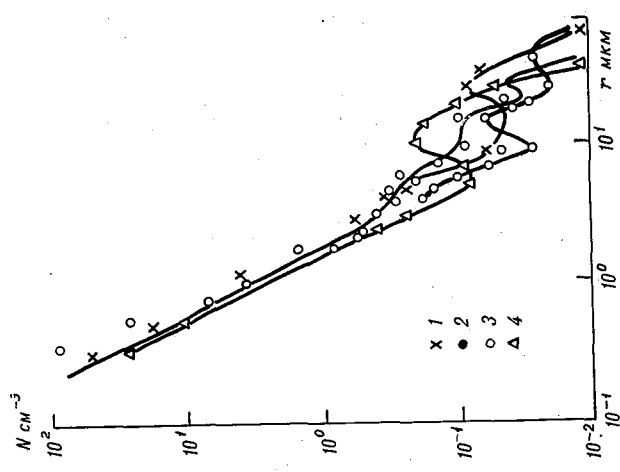


Рис. 4. Дисперсность аэрозоля в разное время суток. 24—25 VIII 1972 г. (пункт № 11).

1 — 24 VIII, 2 — 21 ч 24 VIII; 3 — 3 ч 25 VIII, 4 — 6 ч 25 VIII.

строительная пыль). Эта пыль ко второй половине дня поднимается и в нижние слои тропосферы. В вечерние часы начинается опускание наиболее грубодисперсных фракций аэрозоля к поверхности Земли. Появляется максимум в области размеров  $r \approx 20 \div 50$  мкм (22—23 ч). В более поздние сроки максимум смещается в сторону все более мелких частиц и перед восходом Солнца он находится в области  $r \approx 8 \div 12$  мкм.

Электронно-микроскопический анализ частиц показывает, что большинство гигантских частиц представляет собой сложные, рыхлые конгломераты из более мелких частиц. Это говорит о повышенной способности частиц промышленного происхождения к коагуляционному росту. Часто наблюдаются цепочки из частиц, характерные для различных дымов. Электронно-микроскопический анализ показывает также повышенное по сравнению с естественным аэрозолем содержание мелкодисперсной фракции. Наиболее мелкие частицы размером  $r \approx 0,02 \div 0,05$  мкм имеют почти правильную сферическую форму. Плотность вещества этих частиц весьма различна: наблюдаются как частицы с большой удельной плотностью (окислы металлов), так и с малой (сажа). Большинство рыхлых конгломератов имеют в своем составе частицы приблизительно одинаковой плотности, что говорит о быстром коагуляционном росте таких частиц вблизи их источника.

В пробах, взятых при повышенной влажности, наблюдаются сферические конгломераты с разной плотностью вещества, вероятно, гигроскопические частицы типа сульфатов [2].

Типичные функции распределения частиц по размерам в приземном слое приведены в табл. 2.

Таблица 2

Содержание аэрозольных частиц разных размеров в приземном слое (см<sup>-3</sup>)  
г. Запорожье, 1972 г., пункт № 11

Дата и время, ч мин	Диапазон радиусов частиц, мкм								
	0,2—0,25	0,25—0,35	0,35—0,5	0,5—0,75	0,75—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—2,5	2,5
21 VIII 20 00	27,0	1,54	9,60	1,50	2,21	0,12	0,20	0,79	0,67
22 00	31,5	4,25	1,59	0,02	0,01	0,01	0,01	0,30	0,51
20 30	1,16	0,236	1,16	0,51	1,12	0,236	0,374	0,020	0,275
29 VIII 07 30	47,9	29,9	3,55	2,84	7,00	0,615	0,567	0,035	0,142
09 00	106,5	12,37	9,23	3,01	1,42	0,33	0,142	0,945	0,260
09 20	222,0	18,20	12,2	3,57	1,78	0,36	0,47	0,09	0,47
10 10	22,35	5,50	2,78	0,99	0,118	0,071	0,118	0,071	0,118
12 10	21,2	10,6	6,84	4,57	1,91	0,33	0,52	0,071	0,284
13 15	156,0	8,85	5,18	1,42	1,46	0,43	0,22	0,197	0,316
23 VIII 0 30	11,8	3,88	1,73	0,34	0,47	0,47	0,47	0,24	0,10
1 IX 10 10	7,95	5,70	3,81	1,09	1,24	0,692	0,198	0,099	0,840
17 10	157,0	12,8	9,53	0,611	0,91	0,21	0,105	0,098	0,244

### 3. Химический состав

Авторами проводился анализ химического состава аэрозоля в районе г. Запорожья, взятых на фильтры ФПП-15 на содержание элементов Mn, Mg, Pb, Cr, Fe, Ni, Al, Ca, Cu, Zn, а также на содержание  $\text{SO}_4^{-2}$  и органических веществ. Кроме того, по спектральным измерениям, оптических констант вещества таблеток, спрессованных из проб городского аэрозоля, была сделана оценка содержания частиц сажи. Эта оценка показала, что по массе сажевые частицы составляют от 15 до 35% общего содержания вещества в приземном аэрозоле. Оценка содержания органических веществ и  $\text{SO}_4^{-2}$  сделана только по качественным реакциям. Она показала постоянное присутствие в пробах большого количества органических соединений — примерно от 5 до 30 мкг/м<sup>3</sup>. Содержание аниона  $\text{SO}_4^{-2}$  в пробах коррелирует с повышением величины относительной влажности и сильно зависит от района проведения измерений. На стационарном пункте № 11 содержание  $\text{SO}_4^{-2}$  в пробах было сравнительно невысоким, ~2—5 мкг/м<sup>3</sup> (следует отметить, что проводился анализ фильтров, на которых уже могло не остаться легко испаряющейся серной кислоты).

Исключительно высокие концентрации, характерные для г. Запорожья, наблюдались для элементов Fe, Al, Ni, Cu, Mg и Mn. Они намного превосходили значения концентраций этих элементов для районов, где нет сильного влияния промышленных источников (КЭНЭКС-70, КЭНЭКС-71). Для ряда элементов наблюдаются значительные вариации содержания их в аэрозоле: концентрация свинца изменяется от почти полного отсутствия ( $< 0,1$  мкг/м<sup>3</sup>) до значений порядка 15 мкг/м<sup>3</sup>, концентрация цинка колеблется от 0,4 до 10 мкг/м<sup>3</sup>, кальция — от 1 до 150 мкг/м<sup>3</sup>, хрома — от 0,2 до 1 мкг/м<sup>3</sup>, причем Cr и Zn обнаруживаются в основном на высотах больше 50 м (по измерениям на телевышке и самолетным пробам).

Самолетные заборы проб показали исключительно высокое содержание в нижней тропосфере элементов Mg, Ni и Zn, превышающее содержание этих элементов в незагрязненной тропосфере примерно на два порядка величины. По некоторым техническим причинам значения концентраций Fe, представленные в настоящей статье, могут быть занижены, однако, и они заметно превышают величины концентраций Fe, измеренные в других районах. При измерениях содержания элементов в пробах обнаружено, что концентрация их изменяется не только при измерениях в разных точках и в разное время, но и при анализе разных участков фильтра. Ранее этот эффект не обнаруживался. По-видимому, он может быть объяснен присутствием в пробах гигантских частиц размерами  $r \sim 50 \div 100$  мкм, состоящих из одного химического соединения. Концентрация таких частиц приблизительно равна  $10^{-2}$ , они должны быть в основном промышленного происхождения и представлять собой хлопья дымов из труб металлургических заводов, падающие на землю на расстояниях до нескольких километров от

Содержание некоторых элементов (мкг/м<sup>3</sup>) в атмосфере г. Запорожья, 1972 г.

Дата и время, ч мин	Место измерений	Элемент									
		Mn	Mg	Pb	Cr	Fe	Ni	Al	Ca	Cu	Zn
19 VIII 09 15	Пансионат «Волна» H = 1,0 м	2,04	1,63	—	—	2,08	—	1,9	0,50	1,02	—
19 VIII 08 30	Пункт Бабурка, H = 2,5 м	2,42	1,00	—	0,39	0,31	1,3	2,90	4,20	0,49	—
19 VIII 11 20	Пункт Бабурка, H = 1,7 м	9,10	3,2	2,3	2,92	10,9	1,37	9,45	0,90	1,6	0,68
14 VIII 12 00	Самолет, H = 500 м	2,36	1,29	1,02	0,62	2,18	0,70	3,94	14,6	1,15	9,7
21 VIII	H = 1350 м	—	0,50	—	—	0,80	0,43	—	1,95	—	—
21 VIII	H = 1550 м	0,12	0,98	—	—	1,45	0,10	1,35	10,8	0,36	2,17
23 VIII	H = 500 м	0,45	1,82	0,46	—	3,05	0,46	1,75	7,22	0,36	2,12
23 VIII	H = 500 м	0,62	3,40	0,19	—	5,6	0,38	1,65	11,1	0,36	6,9
29 VIII	H = 5500 м	—	1,22	0,21	—	1,43	—	0,80	2,9	0,32	0,61
4 IX 12 00	Телевышка										
	H = 25 м	1,0	36,0	2,2	0,36	50,0	1,2	12,0	30,0	1,8	4,2
	H = 72 м	1,85	18,0	2,0	0,3	30,0	1,7	6,0	12,0	1,5	7,2
	H = 125 м	1,4	3,4	1,2	—	12,0	1,08	1,68	0,6	1,8	—
	H = 150 м	0,3	6,0	1,4	0,8	50,0	1,7	12,0	50,0	6,0	7,5
	H = 200 м	0,3	9,0	1,4	—	13,0	0,7	1,2	0,75	1,5	—
	Приведенные фоновые значения	0,2	0,1	0,1	0,3	1,00	0,1	0,2	0,75	0,3	0,1

источника. Частицы окислов магния, например, наблюдались на стационарном пункте Бабурка, находящемся в 8—10 км от основных источников загрязнений.

Некоторые результаты по анализу химического состава аэрозольных проб, иллюстрирующие вышесказанное, представлены в табл. 3. В табл. 4 даны результаты химического анализа проб, взятых 21—22 и 29 VIII в дни проведения совместных наземных и самолетных наблюдений.

Таблица 4

Количественный спектральный анализ проб аэрозоля, собранных в пункте № 11 21—22 и 29 VIII 1972 г. (концентрация в мкг/м<sup>3</sup>)

Дата и время, ч мин	Элемент										
	Mn	Mg	Pb	Cr	Fe	Ni	Al	Ca	Cu	Zn	
29 VIII	6 45	6,84	2,75	1,50	—	9,0	0,85	2,4	3,7	1,4	—
	7 20	7,45	3,6	2,5	—	21	0,95	3,0	4,0	1,3	—
	8 10	21,9	11,0	—	15,0	55	2,2	9,6	65	2,45	1,3
	9 20	2,7	2,9	0,47	2,85	30	0,45	3,0	30	1,2	—
	10 10	0,94	0,73	0,52	0,50	2,40	0,41	1,0	0,50	0,47	—
	11 10	2,82	5,0	—	2,13	30	0,41	3,5	2,75	0,50	0,35
	12 10	3,22	3,45	—	1,90	30	0,45	4,95	2,53	0,52	0,22
	13 15	2,60	4,07	—	2,10	30	0,56	4,05	29,5	0,83	0,22
	22 20	5,04	5,3	3,15	3,88	50	0,86	2,75	6,6	0,62	1,06
21 VIII	20 15	24,5	4,70	0,93	—	7,60	0,94	3,0	4,5	2,6	—
	10 10	9,8	14,0	3,05	8,82	24,3	1,62	22,9	13,4	3,36	1,25

Таким образом, проведенные исследования показали большую роль промышленных источников в формировании аэрозоля в атмосфере промышленного района, качественно отличающегося от аэрозоля незагрязненных районов наличием дополнительных максимумов в распределении по размерам, микроструктурой частиц, химическим составом частиц. Обнаружены сильная пространственная неоднородность аэрозоля и некоторые зависимости содержания аэрозоля в атмосфере от метеорологических факторов и времени суток.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмоховский В. И., Иванов В. А., Ивлев Л. С. Вертикальная структура аэрозолей в районе промышленного центра Запорожья.—См. наст. сборник.
2. Головина Е. Г., Ивлев Л. С., Соломатин В. К. О влиянии влажности на структуру аэрозолей промышленного происхождения.—См. наст. сборник.

## **О ВЛИЯНИИ ВЛАЖНОСТИ НА СТРУКТУРУ АЭРОЗОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

Обсуждаемый вопрос относится к одному из наиболее сложных и важных вопросов о закономерностях структуры атмосферных аэрозолей. Сложность вопроса заключается в трудности отделения различных эффектов, влияющих на распределение аэрозолей, особенно в промышленном районе, где существует много точечных источников большой мощности. Важность вопроса заключается в том, что крайне необходимо знать, насколько увеличение влажности способствует резкому увеличению концентраций аэрозолей, опасных для здоровья человека, а также для растительного и животного мира, или же это увеличение влажности в большей степени способствует быстрейшему удалению аэрозолей из атмосферы. Факт укрупнения размеров аэрозольных частиц мелкодисперсной фракции при повышении влажности ни у кого не вызывает сомнений [1, 2, 3]. Причем этот эффект особенно наглядно проявляется для городских аэрозолей. Однако он практически всегда связан с одновременным наличием приземного инверсионного слоя, который не дает подниматься подынверсионным аэрозольным частицам в тропосферу. Более того, повышение влажности часто коррелирует с наличием в атмосфере нисходящих воздушных токов (в вечерние часы), приносящих в приземный слой поднятые в дневные часы частицы. Несомненно также, что существует суточный ход как относительной влажности, так и содержания аэрозолей в приземном слое, что тоже затрудняет выявление истинной зависимости структуры аэрозолей от изменения относительной влажности воздуха. На рис. 1 представлены данные, иллюстрирующие временной ход относительной влажности и весовой концентрации аэрозолей на стационарном пункте № 11 (центр города), а также направления ветра в приземном слое за период с 9 VIII по 2 IX. Отчетливо проявляется суточный ход относительной влажности, модулированный колебаниями влажности с периодом около 8—10 суток, вероятно, вызванными причинами синоптического характера. Практически всегда наблюдается максимум влажности в ночные (предутренние) часы и минимум влажности в дневные (послеобеденные)



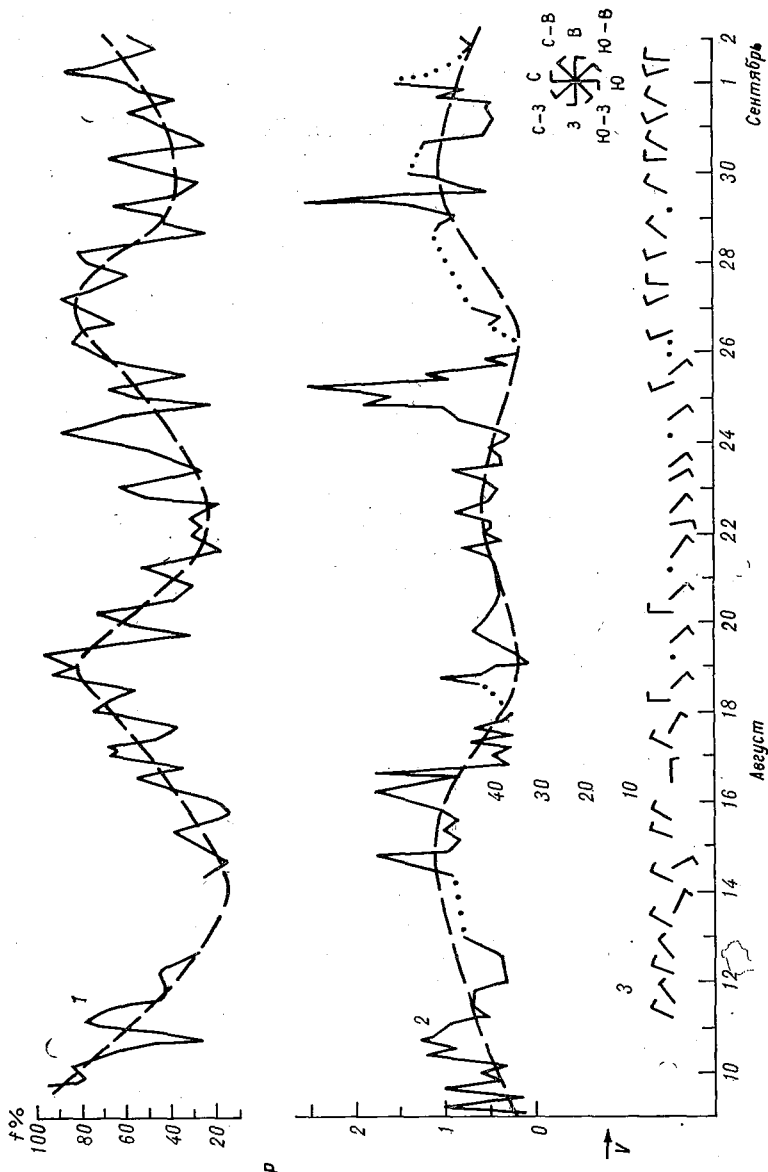


Рис. 1. Некоторые характеристики приземного слоя атмосферы в г. Запорожье (август—сентябрь 1972 г.).  
 1 — относительная влажность воздуха f%, 2 — весовая концентрация аэрозолей P мг/м³, 3 — направление ветра в приземном слое (скорость ветра ≤ 2—3 м/с).

часы. Совершенно другой характер носит суточный ход весовой концентрации частиц; в основном наблюдаются максимумы содержания аэрозолей в утренние и вечерние часы ( $\geq 50\%$  случаев), а в остальных случаях утренний максимум не проявляется (происходит непрерывный рост содержания аэрозолей до позднего вечера). Это, очевидно, говорит о гораздо более сильном влиянии на весовую концентрацию аэрозолей других факторов — температуры подстилающей поверхности и воздуха, турбулентности приземного слоя и т. п. — по сравнению с влажностью. Однако некоторая зависимость все же может быть выявлена. Так, можно почти исклю-

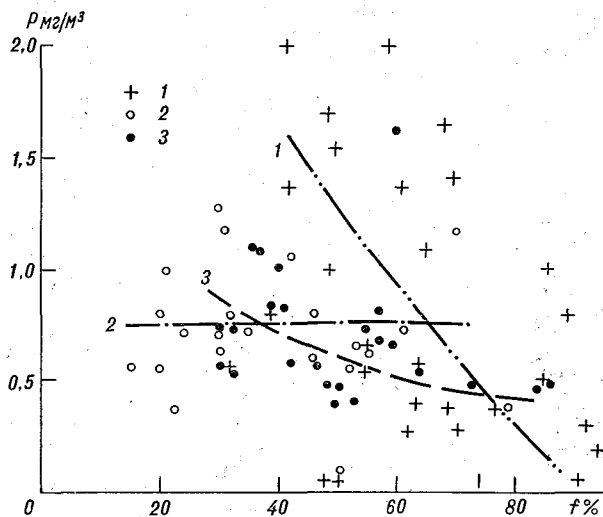


Рис. 2. Зависимость весовой концентрации аэрозолей от влажности в различное время суток (г. Запорожье, август 1972 г.).

1 — утро (5—9 ч); 2 — день (14—17 ч), 3 — вечер (21—24 ч).

чить влияние суточного хода, исследуя зависимость весовой концентрации аэрозолей от величины относительной влажности приблизительно для одних и тех же сроков наблюдения — утро, день, вечер. Такого рода зависимости для периода наблюдений с 9 VIII по 21 X 1972 г. представлены на рис. 2. Можно отметить следующие характерные особенности этих зависимостей: 1) в дневные часы величина относительной влажности существенно не сказывается на весовой концентрации аэрозолей, 2) в утренние и вечерние часы увеличение влажности приводит к уменьшению весовой концентрации аэрозольных частиц, 3) для меньших значений влажности характерен больший разброс значений весовой концентрации аэрозолей для отдельных сроков наблюдений, что, вероятно, вызвано большей зависимостью содержания пыли в атмосфере от различных метеорологических факторов для сухого воздуха, чем для более влажного (неустойчивость содержания пыли в сухом воз-

духе). Такая зависимость весовой концентрации аэрозолей от влажности воздуха хотя казалось бы и несколько противоречит представлениям об увеличении замутненности атмосферы с увеличением влажности, однако физически вполне понятна. Кроме того, следует помнить, что на фильтрах измерялась весовая концентрация сухого остатка, которая дает в основном сведения о содержании грубодисперсных аэрозолей. Поскольку оптическую замутненность атмосферы определяет содержание мелкодисперсной фракции, то представляло интерес провести анализ зависимости концентрации аэрозольных частиц от влажности для разных фракций аэрозолей. Такой анализ был проведен для частиц с  $r \leq 0,3$  мкм на электронном микроскопе, а также для фракций с радиусами  $0,2 \div 0,25$  мкм,  $0,25-0,5$  мкм,  $0,5-1,0$  мкм,  $1,0-2,0$  мкм и  $r \geq 4,0$  мкм. Мелкодисперсные аэрозоли до  $r \approx 0,5$  мкм как по своему поведению в зависимости от влажности, так и по микроструктуре достаточно четко разделились на два типа: 1) частицы промышленного происхождения, 2) частицы почвенного и, возможно, морского происхождения. Это определялось направлением ветра. Для первых характерны более высокие счетные концентрации больших частиц для диапазона  $0,2-0,25$  мкм от  $10 \text{ см}^{-3}$  до  $200 \text{ см}^{-3}$ ; для диапазона  $0,25-0,5$  мкм от  $10 \text{ см}^{-3}$  до  $70 \text{ см}^{-3}$ , обратно пропорциональная зависимость от влажности. Для вторых характерны менее низкие счетные концентрации больших частиц: для диапазона  $0,2-0,25$  мкм от  $2 \text{ см}^{-3}$  до  $10 \text{ см}^{-3}$ ; для диапазона  $0,25-0,5$  мкм от  $0,5 \text{ см}^{-3}$  до  $12 \text{ см}^{-3}$ , а также прямо пропорциональная зависимость от влажности. Для субмикронных частиц, наблюдавшихся под электронным микроскопом, зависимость от влажности аналогичная.

Концентрация более крупных частиц ( $r=0,5-1,0$  мкм) как промышленного, так и естественного происхождения с увеличением влажности уменьшается. Причем для промышленных аэрозолей величины счетной концентрации еще значительно выше и зависимость от влажности выражена сильнее. Еще можно говорить о двух типах аэрозолей по характеру влияния влажности на их содержание в атмосфере, но этого уже нельзя сказать для частиц в диапазоне размеров  $r=1 \div 2$  мкм и более крупных. Счетные концентрации этих частиц как промышленного, так и почвенного происхождения одного порядка; отчетливо выраженной зависимости от величины относительной влажности не наблюдается. Полученные результаты мелкодисперсной фракции промышленного аэрозоля несколько неожиданны.

Конечно, сравнительно небольшой набор материала не позволяет делать широких обобщений, однако, следует попытаться объяснить полученный результат.

Рост счетной концентрации больших аэрозольных частиц при увеличении влажности может быть объяснен эффектом перехода мельчайших частиц субмикронных размеров ( $r < 0,1-0,2$  мкм) в диапазон больших частиц в результате эффекта коагуляции, возрастающего при увеличении влажности. В силу сравнительно малой счетной концентрации этих частиц и особенностей

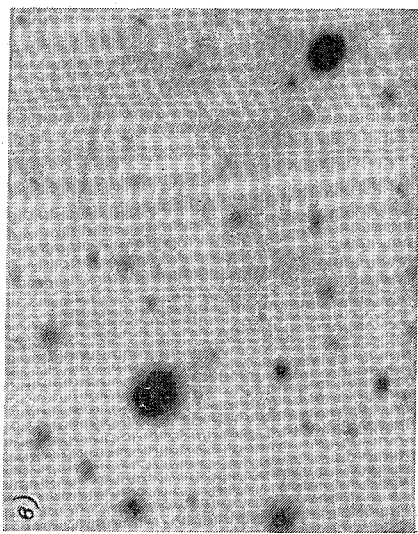
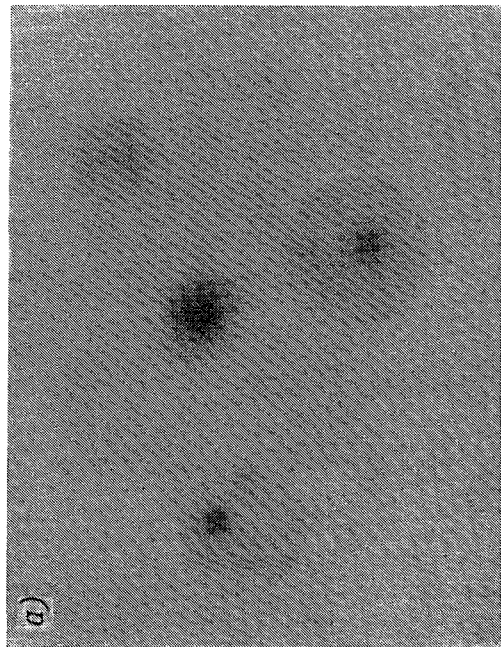


Рис. 3. Электронно-микроскопические снимки аэрозоля.  
*а* — проба естественных аэрозолей, ваятая в сухом воздухе; *б* — проба промышленного аэрозоля, ваятая во влажном воздухе; *в* — рыхлый конгломерат промышленного происхождения.

микроструктуры этих частиц дальнейший рост этих частиц для  $r \geq 0,5$  мкм уже невозможен. Аэрозольные частицы промышленного происхождения при увеличении влажности, вероятно, могут расти за счет коагуляции до больших размеров, что приводит к уменьшению счетной концентрации частиц с  $r \leq 1$  мкм. В пользу этих предположений говорят и результаты электронно-микроскопического анализа. На рис. 3 представлены наиболее типичные электронно-микроскопические снимки для различных ситуаций: пробы естественных аэрозолей, взятых в сухом воздухе, промышленных во влажном воздухе и рыхлый конгломерат промышленного происхождения. Для сухого воздуха характерно наличие большого количества мельчайших частиц, в основном форма которых близка к сферической. Небольшое повышение влажности до 40—50% приводит к увеличению доли рыхлых конгломератов, предположительно промышленного происхождения. Еще более высокие влажности ( $f \geq 70\%$ ) ведут к появлению конгломератов сферической формы с разной плотностью распределения вещества сухого остатка частиц. Представляется наиболее вероятным, что это гигроскопические частицы фотохимического происхождения: сульфаты и сложные системы мельчайших частиц с серной кислотой или водой в пространстве между этими частицами, т. е. специфическое состояние промышленных аэрозолей — смог. Моделирование этого явления в камере влажности также приводит к появлению аналогичных частиц. Эти частицы в основном и ответственны за повышение оптической замутненности атмосферы при увеличении относительной влажности.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что повышение влажности приводит как к уменьшению концентрации твердых аэрозольных частиц в атмосфере, так и к появлению специфических аэрозольных частиц, имеющих диапазон размеров радиуса от нескольких сотых до двух-трех десятых микрона, опасных для здоровья человека в первую очередь из-за наличия в них серной кислоты. К существенному увеличению весовой концентрации аэрозолей это явление не приводит.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенберг Г. В. и др. Некоторые особенности распространения света в различных слоях атмосферы.— «Вестник АН СССР», 1970, № 2, с. 213—230.
2. Зув В. Е. и др. Новые результаты исследования атмосферного аэрозоля.— «Изв. АН СССР, сер. физ. атм. и океана», 1973, т. 9, № 4, с. 371—385.
3. Ивлев Л. С. и др. Оптические свойства атмосферного аэрозоля.— В кн.: Материалы международного симпозиума по радиации. Япония, Сендай, 1972 г.

*В. И. ДМОХОВСКИЙ, В. А. ИВАНОВ, Л. С. ИВЛЕВ*

## **ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА АЭРОЗОЛЯ В РАЙОНЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА ЗАПОРОЖЬЕ**

Самолетные импакторные и фильтровые измерения, проведенные в июле—августе 1972 г. над г. Запорожьем, дали уникальный материал по пространственно-временной структуре аэрозоля над промышленным районом. В этих измерениях отчетливо проявились пространственная неоднородность распределения аэрозоля над промышленным районом, влияние промышленных источников на структуру аэрозоля и суточный ход вертикального распределения аэрозоля. Необходимо отметить, что все измерения проводились в ясную антициклоническую погоду как при неустойчивом состоянии атмосферы, так и при устойчивом. В этом смысле результаты измерений должны быть достаточно типичными и могут быть использованы для изучения влияния промышленных источников на вертикальную структуру аэрозоля и в других районах с интенсивными промышленными загрязнениями.

Основная характерная черта вертикальной структуры аэрозоля над г. Запорожьем — наличие постоянного, устойчивого дымового купола. Высота этого купола около 3 км. Концентрация пылевых частиц до этой высоты существенно больше, чем в районах, не имеющих мощных источников аэрозоля [1, 2]. Структура этого аэрозольного купола слоистая. Ни при одном измерении не наблюдалось равномерной вертикальной структуры. Причем слои повышенной концентрации аэрозоля в зависимости от времени суток смещались вверх или вниз. Пример такого суточного хода слоев по измерениям 21—22 VIII представлен на рис. 1.

Можно предполагать, кроме двух максимумов аэрозоля, обнаруженных при этих измерениях, наличие еще одного максимума в верхней тропосфере, выше 5 км. Ночные измерения (1 ч 55 мин — 2 ч 20 мин 22 VIII 1972 г.) показывают, что опускающийся аэрозоль верхней тропосферы может заметно повышать концентрацию аэрозольных частиц на высотах больше 2 км. Ниже до восхода Солнца он опуститься не успевает, а в утренние часы снова поднимается в верхнюю тропосферу. Электронно-микроскопический

анализ этих частиц показывает, что их микроструктура сходна с микроструктурой дымовых частиц, и можно предполагать, что эти частицы сильно поглощают радиацию. В таком случае подъем дымовых частиц в верхнюю тропосферу достаточно легко объясняется появлением подъемной силы у нагревающегося за счет поглощения солнечной радиации дымовыми частицами слоя воздуха. Следует отметить также факт слабой чувствительности дисперсности аэрозоля над промышленными источниками к высоте до уровня 3—4 км (конечно, до определенных размеров частиц  $r \leq 10$  мкм). Это хорошо иллюстрируется данными табл. 1 и 2. Гораздо сильнее зависимость дисперсности аэрозольных частиц от направления и силы ветра: наиболее крупные частицы наблюдаются по ветру от промышленных источников. Такие отдельные гигантские частицы (радиусом до 20—30 мкм) наблюдались при самолетных измере-

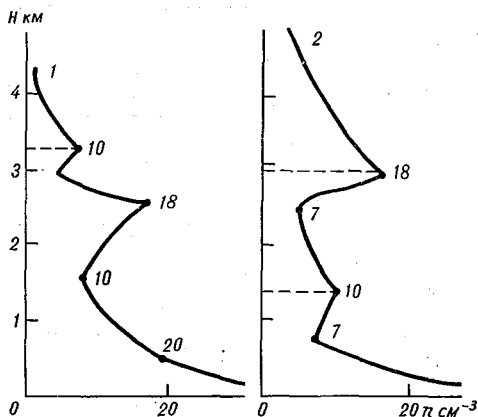


Рис. 1. Временной ход слоев аэрозоля 21—22 VIII 1972 г.,  $r \geq 0,2$  мкм.

1 — день (7 ч 50 мин — 8 ч 15 мин), 2 — ночь (1 ч 55 мин — 2 ч 20 мин).

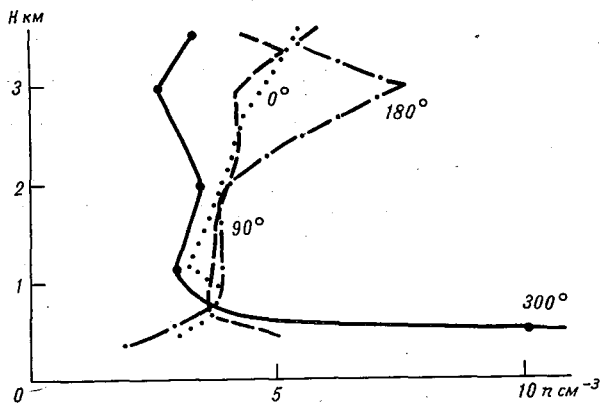


Рис. 2. Вертикальные профили счетной концентрации больших аэрозольных частиц ( $r \geq 0,2$  мкм) над г. Запорожьем в различных направлениях от основных источников 30 VIII 1972 г.

ниях до высоты 2—3 км с подветренной стороны на расстоянии 10—12 км от источника.

Направление и сила ветра существенно сказывается и на горизонтальной структуре аэрозоля на всех высотах в нижней и

Дисперсность аэрозоля на разных высотах над промышленным центром Запорожье

Дата	Время, ч мин	Высота, м	Концентрация, см <sup>-3</sup>	Диапазон радиусов, мкм							
				0,25	0,25—0,375	0,375—0,50	0,50—0,75	0,75—1,25	1,25—2,0	2,0—3,0	3,0
12 VII	8 5	450	2,769	0,499	0,306	0,137	0,034	0,01	0,0053	0,0046	0,0035
		900	4,974	0,457	0,302	0,157	0,040	0,026	0,0130	0,0030	0,0020
		200	2,996	0,527	0,242	0,172	0,040	0,010	0,0050	0,0020	0,0020
		450	4,807	0,430	0,285	0,350	0,080	0,0375	0,0125	0,00835	0,00375
		200	3,082	0,383	0,257	0,168	0,110	0,0495	0,0174	0,0108	0,00425
16 VII	10 40	2000	2,683	0,392	0,272	0,145	0,104	0,0524	0,0164	0,00857	0,00597
		3875	1,881	0,400	0,260	0,180	0,106	0,0180	0,0116	0,0026	0,00117
		5900	1,120	0,400	0,286	0,182	0,098	0,0268	0,0107	0,00312	0,0025
		525	2,603	0,384	0,242	0,173	0,127	0,046	0,016	0,010	0,0023
		900	2,163	0,333	0,240	0,213	0,148	0,0550	0,023	0,0138	0,0069
18 VII	7 25	1925	2,446	0,393	0,225	0,204	0,134	0,0303	0,0163	0,0004	0,0004
		2350	2,108	0,327	0,236	0,223	0,166	0,0322	0,0142	—	—
		400	3,280	0,368	0,235	0,201	0,113	0,0427	0,0253	0,0101	0,00458
		900	2,873	0,335	0,314	0,181	0,129	0,0237	0,0105	0,0070	0,00167
		1950	3,184	0,365	0,286	0,204	0,128	0,0248	0,00754	0,00273	0,0006
5775	3,163	0,326	0,286	0,212	0,161	0,0174	0,00164	0,0007	0,00013		



Таблица 2

Содержание аэрозоля разных фракций на разных высотах ( $\text{см}^{-3}$ ) в утренние часы (7 ч 45 мин — 8 ч 00 мин) по самолетным измерениям 23 VIII 1972 г.

H м	Диапазон радиусов, мкм					
	0,3—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,5	2,5—3,75	3,75—7,5
250	2,30	1,150	0,1445	0,0445	0,0081	—
300	3,02	1,463	0,1785	0,0162	0,0121	0,0040
400	2,71	3,250	0,2000	0,0162	0,0081	—
550	4,21	2,310	0,1785	0,0121	0,0040	0,0040
650	4,30	2,090	0,1150	0,0324	0,0081	—
800	3,21	1,840	0,0978	0,0607	0,0203	0,0242
950	3,00	1,030	0,1870	0,0242	0,0162	0,0081
1250	2,69	0,553	0,1615	0,0040	—	0,0081
1400	0,75	0,203	0,0340	0,0242	—	—
1700	1,40	0,203	0,0297	—	0,0040	0,0081
2000	2,00	0,450	0,1145	0,0162	0,0040	0,0040
2250	2,06	0,923	0,2460	0,0203	0,0121	—
2500	1,18	0,702	0,0978	0,0242	0,0040	—
2750	2,77	0,905	0,1785	0,0121	0,0081	0,0040
3000	2,85	1,030	0,0552	—	0,0040	—
3100	—	0,765	0,1740	0,0162	0,0121	0,0121
3200	—	1,395	0,3180	0,0851	0,0282	0,0121
3450	—	1,505	0,1785	0,0810	0,0162	—
3800	—	0,990	0,1275	0,0486	0,0081	0,0081
4000	—	0,585	0,0935	0,0607	0,0203	0,0040

Таблица 3

Дисперсность аэрозоля ( $\text{см}^{-3}$ ) над г. Запорожьем в разных направлениях от промышленной площадки и на разных высотах

H м	Диапазон радиусов, мкм					Направление, град.
	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,5	2,5—3,75	3,75—7,5	
500	1,800	0,4720	0,1460	0,0607	0,0405	180
500	9,360	0,6970	0,0282	—	—	300
500	2,670	0,0723	0,0081	—	—	0
500	4,820	0,1530	0,0121	—	—	90
800	3,870	0,1784	0,0040	0,0040	0,0040	120
800	3,640	0,2170	0,0242	—	—	180
800	3,400	0,1315	0,0162	—	—	300
800	3,440	0,3310	0,0282	—	—	0
800	3,280	0,2850	0,0324	0,0040	—	90
1350	2,770	0,2970	0,0121	0,0040	—	120
1350	1,999	0,0978	0,0040	—	—	240
1350	2,950	0,0680	0,0121	—	—	300
1350	3,050	0,0553	0,0081	0,0040	—	0
1350	3,640	0,1155	0,0203	0,0081	—	90

H м	Диапазон радиусов, мкм					Направление, град.
	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,5	2,5—3,75	3,75—7,5	
2000	5,350	0,0850	0,0121	0,0081	0,0040	120
2000	3,670	0,2420	0,0324	0,0162	0,0121	180
2000	3,400	0,1615	0,0324	0,0203	0,0081	300
2000	3,580	0,1400	0,0324	0,0040	0,0040	0
2000	3,860	0,1570	0,0121	0,0081	0,0081	90
3000	5,470	0,2040	0,0324	0,0081	0,0040	120
3000	6,830	0,2340	—	—	—	180
3000	2,580	0,0850	0,0081	—	—	300
3000	4,180	0,1060	0,0121	0,0121	—	90
3500	4,000	0,1105	0,0203	0,0162	—	120
3500	4,320	0,1155	0,0203	0,0040	—	180
3500	3,350	0,0807	0,0365	0,0081	—	300
3500	5,310	0,1360	0,0162	0,0040	—	0
3500	5,020	0,2120	0,0203	0,0081	0,0040	90
3500	4,470	0,1155	0,0081	0,0040	0,0040	

средней тропосфере. В связи с этим особо следует остановиться на результатах измерений в полете, проведенном 30 VIII 1972 г. В отличие от стандартной программы КЭНЭКС-72, в этом случае полеты проводились на разных высотах (500, 800, 1350, 2000, 3000, 3500 м) по кругу радиусом около 10 км и с центром в районе промплощадки г. Запорожья. При этом аэрозольные пробы брались над одними и теми же участками местности. Таким образом, были получены почти одновременные вертикальные аэрозольные разрезы до высоты 3500 м в четырех точках, отстоящих на 10—12 км от основных источников аэрозоля в городе к северу, югу, востоку и юго-западу. Полученные профили счетной концентрации аэрозоля с высотой существенно отличаются друг от друга (рис. 2). Приблизительно совпадают они только на высотах от 800 до 2000 м. При этом, если до высоты 800 м наблюдается заметное увеличение концентрации мелкодисперсной фракции к юго-западу от заводов (300°), то на высотах, больше 2000 м, соотношение различных фракций во всех пробах примерно одинаково (табл. 3), в то время как счетная же концентрация частиц с высотой в разных направлениях меняется по разному. Отчетливо заметно повышенное содержание частиц на высоте 3000 м к югу от города. Можно предполагать, что на высотах больше 4000 м все профили сольются в один, однако это только предположение, правда, подтверждающееся визуальными наблюдениями.

Совершенно очевидно, что максимум счетной концентрации на высоте 3000 м промышленного происхождения, причем на этой высоте он уже сравнительно слабо размывается турбулентностью, так же как и на малых высотах (500—800 м).

В связи с этим отметим, что и в ранее проводившихся измерениях максимум счетной концентрации аэрозоля в тропосфере

обычно наблюдался на высотах 2500—3500 м [3], поэтому было бы весьма интересно провести серию одновременных измерений аэроля и характеристик турбулентности на этих высотах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмоховский В. И. и др. Самолетные измерения вертикальной структуры атмосферного аэрозоля по программе Комплексного энергетического эксперимента.— «Тр. ГГО», 1972, вып. 276, с. 103—108.
2. Blifford J. Tropospheric Aerosols.— "J. Geoph. Res.", 1970, v. 75, No. 15, p. 3099—3104.
3. Ивлев Л. С. и др. Аэростатные измерения вертикального распределения атмосферного аэрозоля.— «Проблемы физики атмосферы», ЛГУ, 1968, вып. 6, с. 59—63.

## СОДЕРЖАНИЕ

М. Е. Берлянд, К. Я. Кондратьев, В. Ф. Жвалев, И. М. Зра- жевский. Задачи и программа эксперимента КЭНЭКС-72 . . . . .	1
Л. Н. Гусева, Г. П. Расторгуева. Синоптическая ситуация и ход метеорологических элементов в период экспедиции КЭНЭКС-72	1
И. В. Васильченко, Б. И. Вдовин. Некоторые особенности стра- тификации и термического режима пограничного слоя атмосферы над городом . . . . .	2
Г. П. Расторгуева. Характеристика метеорологического режима приземного слоя воздуха за период экспедиции в Запорожье . . . . .	2
Г. П. Расторгуева. Некоторые результаты экспериментальных ис- следований термического режима города Запорожья . . . . .	3
Л. А. Денежкина, В. Ф. Жвалев, М. А. Прокофьев, Л. И. Прокофьева, Н. Е. Тер-Маркарянц. Результаты акти- нометрических наблюдений в свободной атмосфере в экспедиции КЭНЭКС-72 . . . . .	3
Е. Н. Русина. Некоторые результаты наземных спектральных акти- нометрических наблюдений . . . . .	4
К. Я. Кондратьев, Ю. И. Рабинович, А. И. Решетни- ков. Некоторые результаты самолетных измерений спектральной прозрачности в диапазоне 1,6—5 мкм . . . . .	5
Б. И. Вдовин, Т. П. Кренина, И. И. Соломатина, Л. Р. Сою- кин. Метеорологические условия загрязнения воздуха в Запорожье в летний сезон . . . . .	5
Н. С. Буренин, Б. И. Вдовин. Вертолетные измерения распре- деления примесей над городом . . . . .	6
С. А. Коньков, И. И. Соломатина, Л. И. Елекоева. Особен- ности загрязнения городского воздуха сернистым газом по данным газоанализаторов . . . . .	7
В. З. Альперин, В. И. Ануфриев, Н. Ш. Вольберг, С. И. Конь- ков, В. Н. Скнар, Я. М. Чернии. Вопросы улучшения экс- плуатационных характеристик газоанализатора ГКП-1 . . . . .	8
С. А. Коньков, Е. Г. Головина. Некоторые результаты автома- тической регистрации запыленности атмосферного воздуха промыш- ленного города . . . . .	8
Г. А. Панфилова, Б. Н. Пьянцев, Т. А. Кузьмина. Осо- бенности распределения фтористых соединений под факелом Дне- провского алюминиевого завода . . . . .	9
Л. С. Ивлев, Е. Г. Головина, В. И. Дмоховский, В. А. Ива- нов, В. В. Мартышев, А. Ю. Семова, В. К. Солома- тин, В. Я. Сихарулидзе. Особенности структуры аэрозоля в промышленном районе г. Запорожья . . . . .	9
Е. Г. Головина, Л. С. Ивлев, В. К. Соломатин. О влиянии влажности на структуру аэрозолей промышленного происхождения . . . . .	10
В. И. Дмоховский, В. А. Иванов, Л. С. Ивлев. Вертикаль- ная структура аэрозолей в районе промышленного центра Запорожье . . . . .	11

ТРУДЫ ГГО, вып. 332

### Комплексный энергетический эксперимент (КЭНЭКС-72)

Редактор *Е. И. Ильных*

Техн. редактор *Г. В. Ивкова*

Корректор *А. В. Хюркес*

Сдано в набор 12/IV 1974 г. Подписано к печати 2/VIII 1974 г. М-06400. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>,  
бум. тип. № 1. Печ. л. 8. Уч.-изд. л. 8,09. Тираж 500 экз. Индекс МЛ-159. Заказ № 279.  
Цена 57 коп.

Гидрометеонадат, 199053, Ленинград, 2-я линия, д. 23.

Ленинградская типография № 8 «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете  
Совета Министров СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.  
190000, Ленинград, Прачечный пер., 6.