

Б.Д. Белан<sup>1,2</sup>, Г.А. Ивлев<sup>1</sup>, А.С. Козлов<sup>3</sup>, И.И. Маринайте<sup>4</sup>, В.В. Пененко<sup>5</sup>,  
Е.В. Покровский<sup>1</sup>, Д.В. Симоненков<sup>1</sup>, А.В. Фофонов<sup>1</sup>, Т.В. Ходжер<sup>4</sup>

## Сравнительная оценка состава воздуха промышленных городов Сибири

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

<sup>2</sup>Томский государственный университет

<sup>3</sup>Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск

<sup>4</sup>Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

<sup>5</sup>Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск

Поступила в редакцию 17.01.2007 г.

С помощью мобильной станции проведено обследование качества воздуха в 11 городах Сибири от Иркутска до Новосибирска в зимний и летний периоды. Показано, что современный промышленный город в зимний период является не только островом «тепла», но и островом загрязнений. Концентрации примесей в центре большинства городов значительно выше, чем на его периферии. Исключение составляет озон, который, очевидно, гибнет в выбросах предприятий в центре и восстанавливается на периферии. В летний период действие локальной циркуляции значительно ослабляется и не всегда сохраняется разница между параметрами, измеряемыми в центре города и на периферии.

### Введение

Оценивая круг проблем, касающихся состояния атмосферы сибирских городов, необходимо отметить следующее. Типичным для сибирских городов является существенная зависимость качества атмосферы от климатических условий. Более половины года в Сибири преобладает устойчивая стратификация атмосферы с температурными инверсиями, что способствует накоплению загрязняющих примесей различного происхождения в нижних слоях атмосферы, именно там, где функционируют экосистемы и живут люди.

В дополнение к суровым климатическим условиям в современных индустриальных городах все более усиливаются воздействия антропогенных факторов на окружающую среду и человека. Эти воздействия проявляются через загрязнение природной среды, изменения характеристик поверхности Земли, гидрологического и гидротермодинамического режимов атмосферы и др. В городах создаются своеобразные мезоклиматы, способствующие накоплению загрязнений, а урбоценозы в них складываются в экстремальных и эволюционно «не предусмотренных» условиях и представляют собой совершенно особый и слабо изученный тип экосистем. Здесь очень тесно взаимодействуют природные и техногенные комплексы (энергетические и промышленные объекты, транспорт и др.). Имеются серьезные противоречия между возрастающей химизацией всех отраслей промышленности и низким уровнем общей химической грамотности даже на уровне принятия ответственных решений: например, до сих пор реа-

лизуются незавершенные технологии без заключительных стадий рационального использования отходов. Поэтому существует высокий потенциальный риск антропогенных катастроф, которые, в свою очередь, могут спровоцировать экологические катастрофы через выбросы тепла, влаги и токсичных примесей.

Следует также иметь в виду, что города не являются замкнутыми системами. Они могут как распространять загрязнения на окружающие территории, так и получать их извне.

Все эти вопросы связаны с экологической безопасностью и качеством жизни. В настоящее время не подлежит сомнению тесная связь состояния среды обитания человека с его здоровьем, работоспособностью и продолжительностью жизни.

Общее ухудшение экологической обстановки в городах Сибири сказывается на увеличении в органах и тканях человека продуктов повышенной токсичности, что отражается на функционировании организма в целом и приводит к нарушению обмена веществ. Вследствие этого к экзотоксикозу присоединяется токсикоз, вызванный внутренней разбалансировкой обменных процессов (эндотоксикоз). Происходит сбой в работе компенсаторных механизмов, в частности накопление чужеродных продуктов протеолиза белков, что, в свою очередь, ведет к нарушениям в иммунной системе человека и повышению риску развития многообразных патологических процессов.

Недостаток фундаментальных медицинских знаний в области эндотоксикоза, отсутствие глубокого понимания реальных биохимических и физиологи-

ческих процессов не позволяют сформировать оперативную экспертную диагностику патологических состояний, обусловленных повышенной антропогенной нагрузкой.

Используемый повсеместно в России нормативный подход к оценкам экологического риска для всех видов промышленности устарел и не позволяет решать стратегически главную задачу — предупреждение возникновения экологически опасных ситуаций и ослабление их возможных последствий. Одна из причин — отставание фундаментальных научных знаний в области экологической химии и смежных наук от насущных экологических проблем, требующих неотложного решения. Многие фундаментальные и прикладные исследования, проводимые нашими учеными в конкретных областях знаний, находятся в русле мировых тенденций и по уровню, подходам и классам решаемых задач не уступают зарубежным разработкам, но, к сожалению, у нас недостаточно междисциплинарных взаимодействий, которые необходимы для решения подобных задач в комплексе.

Исследования закономерностей формирования и трансформации поля загрязнений воздуха в крупных промышленных центрах особенно бурно развиваются в последние 10–15 лет. Длительное время считалось, что в обычные дни с умеренным ветром город хорошо продувается и повышенный фон загрязнения воздуха наблюдается только вблизи производств или вдоль шлейфа распространения примесей. Для определения будущего места размещения новых производств использовалась климатическая роза ветров. В этом случае новые предприятия располагаются вне черты города, на подветренной стороне. Предполагалось, что при таком размещении выбросы будут уноситься ветром, а предприятия оказывать минимальное воздействие на атмосферу города. Современные теоретические данные об особенностях аэрации крупных промышленных центров показывают, что это опасное заблуждение [1–3].

При рассмотрении города из иллюминатора самолета, даже при наличии сильного ветра, легко увидеть, что действительно выбросы из высоко расположенных источников (труб) распространяются по ветру и уносятся за пределы города. Вместе с тем город окутан дымкой, что свидетельствует о накоплении, в первую очередь, аэрозольных примесей в пределах города.

Если наблюдать за городом в течение нескольких дней без осадков, например при антициклоне, то можно увидеть, что городская дымка в течение этого времени изменяет свой цвет от белесого до грязно-черного. Это говорит о том, что выбрасываемые на территории города примеси не только не выносятся за его пределы, но еще и трансформируются в ходе химических, фотохимических, конденсационных и коагуляционных процессов. Данные самолетного зондирования над городами показывают [4, 5], что накопление примесей идет не только в приземном слое, но и выше, охватывая в отдельные периоды весь пограничный слой атмосферы. В рамках традиционных представлений объяснить фактически наблюдаемую ситуацию с «шапкой» загрязнений над городом невозможно.

Скопление промышленных объектов на ограниченной территории, каковой и является современный город, приводит к тому, что в его пределах выбрасывается в окружающую среду большое количество всевозможных примесей, не наблюдающихся в естественных условиях. К ним можно отнести химические соединения в разных состояниях и разной природы, дополнительную тепловую энергию, электромагнитные излучения разных видов и т.п. Вследствие этого город становится «островом тепла», что достаточно давно установлено [6]. Обычно город строится на возвышенном месте, поэтому его территория имеет орографические неоднородности, и, как правило, он располагается на берегу крупного водоема, что создает контраст температур на границе «суша — водная поверхность». В результате сложения действия трех перечисленных факторов в окрестностях города возникает местная локальная циркуляция [2, 3].

Особенность городской локальной циркуляции заключается в том, что в тени города возникают возвратные потоки воздуха, противоположные направлению основного потока, наблюдающегося с наветренной стороны [2]. Эта возвратная циркуляция как бы запирает выбросы предприятий на территории города. Над ним возникает дымка, состоящая из газообразных и аэрозольных веществ, получившая название «шапка» загрязнений. Характерным свойством такой циркуляции является то, что она сохраняется над городом не только при слабом, но и при ветре средней интенсивности. Она разрушается при прохождении через город атмосферных фронтов. После их прохождения циркуляция восстанавливается в течение суток.

По расчетам [1–3] площадь зоны, охваченной локальной циркуляцией, зависит от масштаба города, количества и мощности предприятий. Выбросы, попадающие в зону ее действия, накапливаются, но не беспредельно.

Поскольку температура воздуха внутри образовавшейся таким образом городской колонки выше, чем в окружающем город пространстве, то он начинает подниматься. По данным [6], вначале колонка с примесями имеет вертикальный вид, а затем, под действием основного потока, начинает наклоняться. Она приобретает горизонтальный вид на значительном удалении от города и распространяется вблизи верхней границы пограничного слоя атмосферы. Высота этого слоя зависит от сезона. И он отделяется от свободной атмосферы задерживающим слоем [7].

Из вышеизложенного следует, что имеются противоречия между традиционными представлениями о формировании поля загрязнений в районе промышленного центра, фактически наблюдаемым распределением примесей и теоретическим предсказанием наличия особой локальной циркуляции, определяющей закономерности поведения примесей в атмосфере города.

Цель настоящей работы заключается в экспериментальной проверке результатов действия локальной циркуляции воздуха на состав атмосферы промышленных городов Сибирского региона. Данная

статья посвящена летнему периоду и сравнению полученных результатов для различных сезонов; зимний период подробно рассматривался в [8].

## Методы и места проведения исследований

Для исследования использовалась мобильная станция АКВ-2, созданная в Институте оптики атмосферы СО РАН. Комплекс оборудования станции позволяет измерять [9]: температуру и влажность воздуха, скорость и направление ветра, суммарную солнечную радиацию; дисперсный состав аэрозоля в двух диапазонах: 0,4–10 мкм с помощью модернизированного счетчика АЗ-6 по 12 каналам и 3–200 нм с помощью диффузионного спектрометра аэрозоля по 8 каналам; концентрацию газов NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>. Для определения химического состава аэрозоля используется метод отбора проб на фильтры типа АФА с последующим аналитическим анализом.

В принципе станция АКВ-2 несущественно отличается от подобных, которые создаются во многих регионах. Основное отличие заключается в том, что благодаря имеющимся в ней аккумуляторной батарее и преобразователю напряжения 12/220 В станция позволяет производить измерения не только на остановках, но и по ходу маршрута.

Возможность проведения измерений на ходу мобильной станции АКВ-2 позволила нам перейти от маршрутных наблюдений к площадным. Это, в свою очередь, дает возможность использования современных программных пакетов построения карт распределения примесей воздуха на территории конкретного города. Такая методика отрабатывалась нами в Томске в июле 2005 г. На рис. 1 приведены маршруты, по которым двигалась станция АКВ-2. Маршруты выбирались так, чтобы охватить центральную часть города и его периферию.

На рис. 2 приведено поле концентрации оксида азота по территории Томска. Эта картина была построена в результате двухчасовой поездки мобильной станции по территории города. Такие же карты построены и по другим измеряемым параметрам.

Рис. 2 отражает все проблемы с автомобильным движением в городе. Концентрация NO наибольшая на пересечении основных автомагистралей и уменьшается при удалении от них. Надо отметить, что распределение NO почти однозначно совпадает с распределением еще одного газа – CO, имеющего также «автомобильное» происхождение.

Достаточно давно установлено, что при прохождении осадков наблюдается очищение воздуха от примесей [10]. Для того чтобы рассмотреть этот процесс, в августе 2005 г. с помощью мобильной станции было проведено обследование г. Томска во время

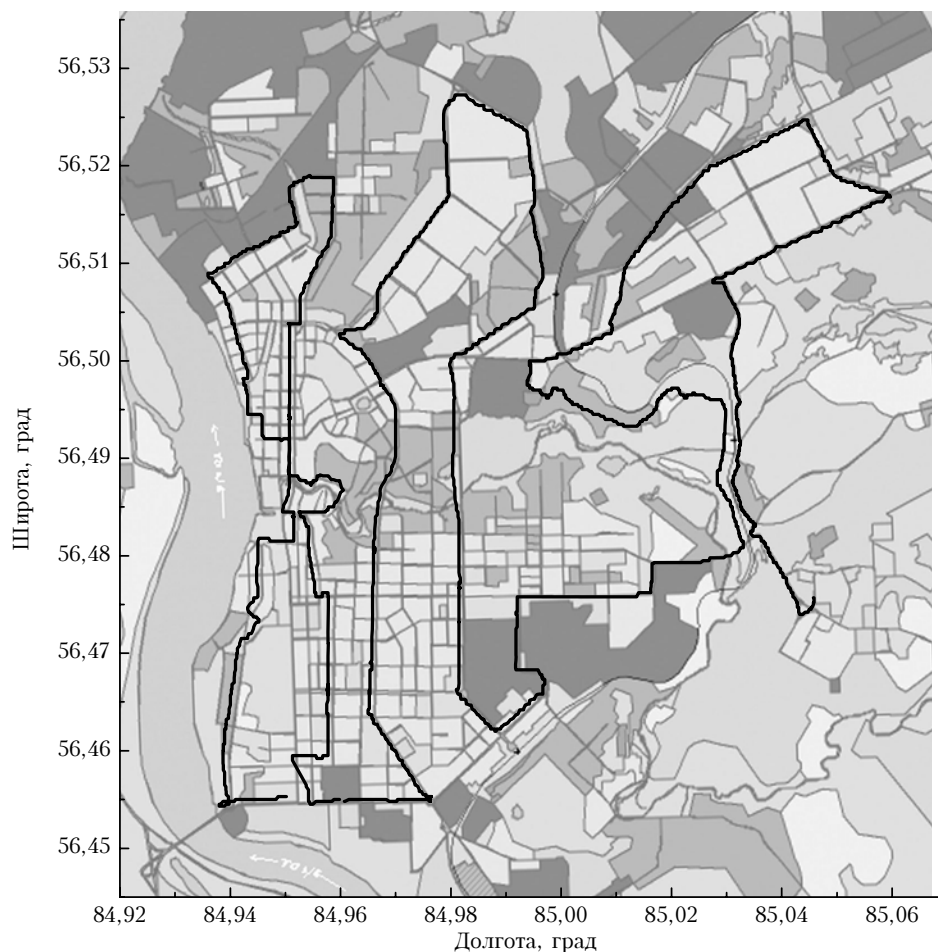


Рис. 1. Маршруты движения мобильной станции в Томске 07 июля 2005 г.

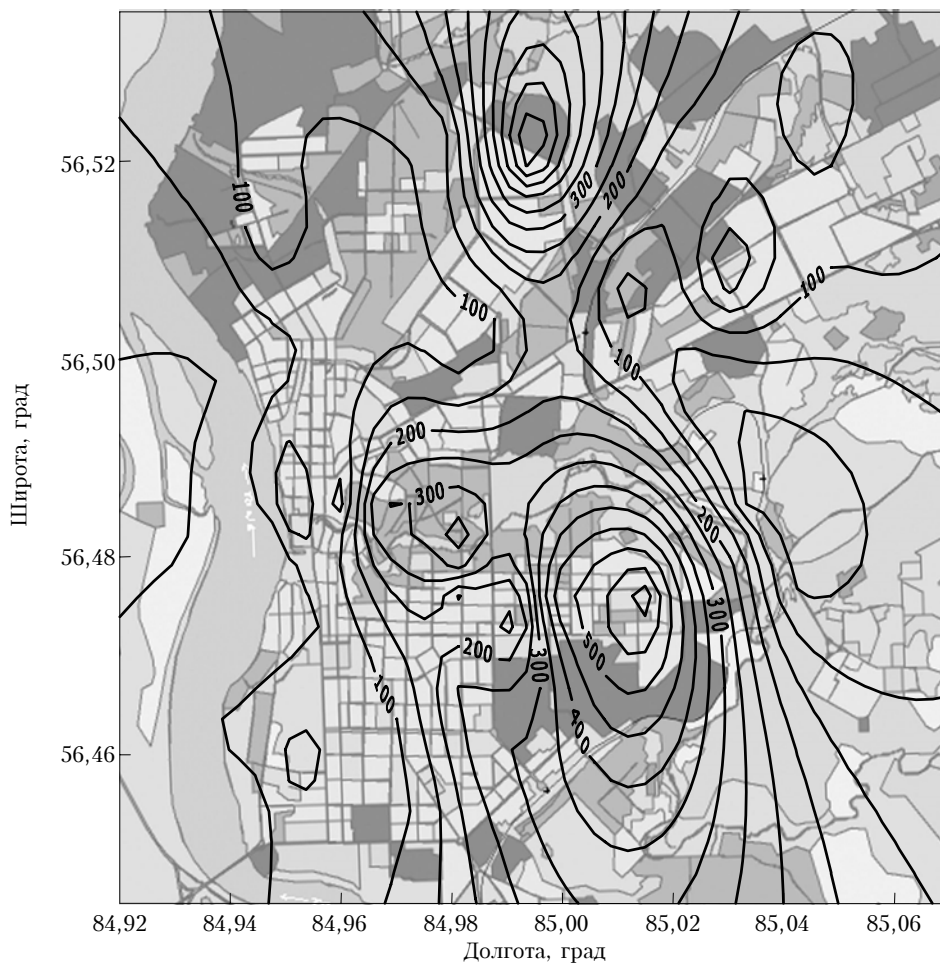


Рис. 2. Распределение концентрации оксида азота ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ) по территории Томска

прохождения осадков. Схема измерений была та-  
кой же, как и в предыдущем случае.

Полученные данные показали, что этот процесс  
неоднозначный (рис. 3 и 4).

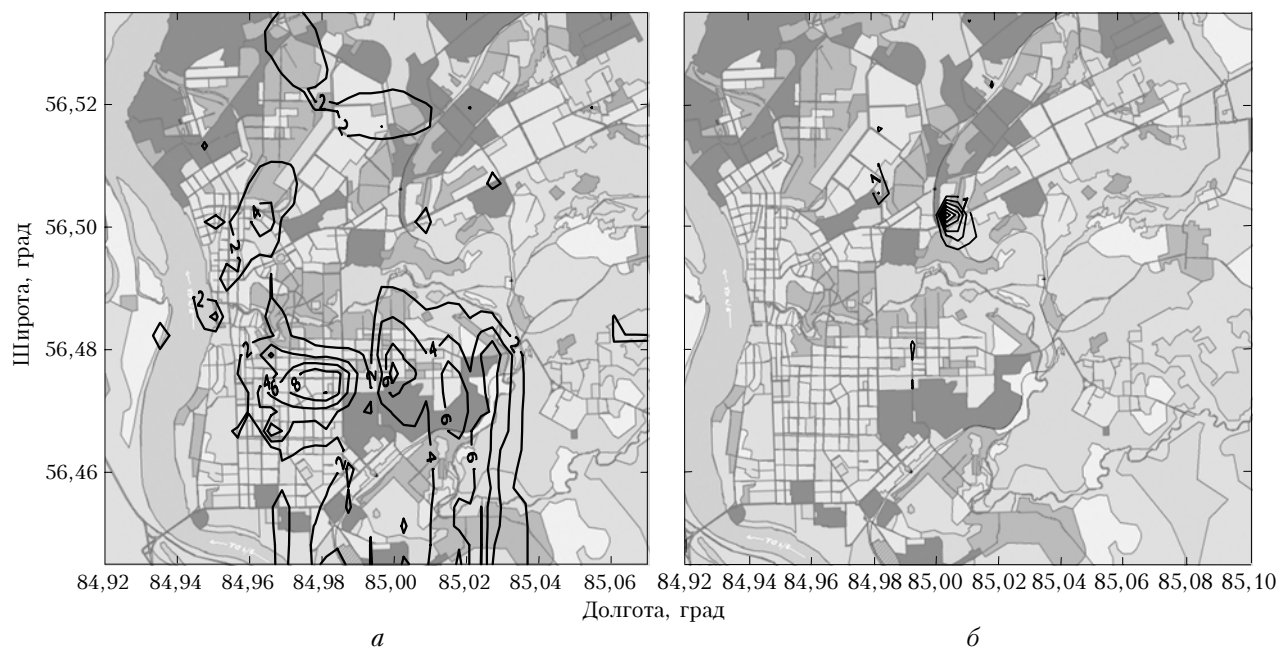


Рис. 3. Распределение CO ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) в Томске 11 июля (а) и 26 августа (б) 2005 г.

**Сравнительная оценка состава воздуха промышленных городов Сибири**

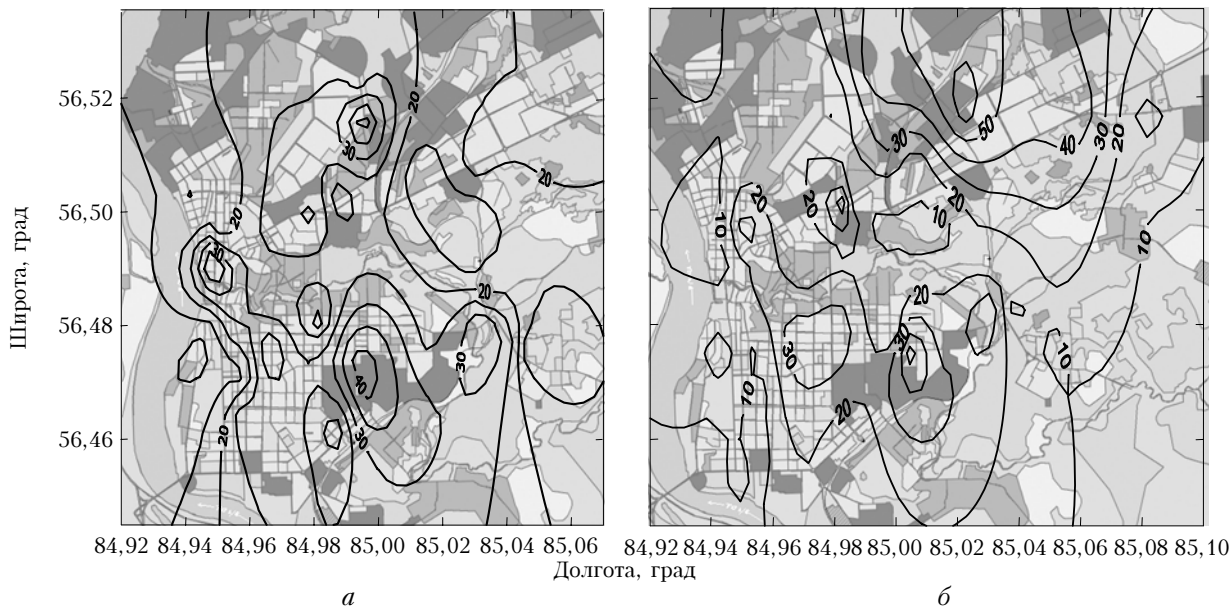


Рис. 4. Распределение диоксида азота ( $\mu\text{г}/\text{м}^3$ ) в Томске 11 июля (а) и 26 августа (б) 2005 г.

Выбросы автотранспорта оказывают наибольшее воздействие на маршрутные измерения CO. Повышенные концентрации CO наблюдаются на перекрестках главных магистралей города. Однако в зависимости от погодных условий и времени измерений их уровень может значительно различаться. Во втором случае (26 августа) измерения проводились при моросящем дожде, в этих условиях CO интенсивно вымывался из атмосферы и его концентрации оказались минимальными даже при интенсивном движении.

Соединения  $\text{NO}_x$  являются неотъемлемой составляющей выбросов двигателей автомобилей. При этом концентрации NO в разы превышают концентрации  $\text{NO}_2$  в непосредственной близости от транспортного потока. Наши измерения в обоих случаях показали наличие в центральной части города значительной зоны загрязнения воздуха соединениями  $\text{NO}_x$ . Минимальные значения наблюдались вблизи р. Томи и в озелененной долине р. Ушайки, а также в районе Академгородка.

По-видимому, процесс очищения воздуха существенно зависит от растворимости газов. Оксид углерода, сернистый ангидрид и озон весьма существенно вымываются из атмосферы. Оксиды азота, наоборот, почти не реагируют на прохождение осадков.

Для сопоставления состава воздуха в других городах измерения были проведены в феврале–марте 2004 г. и в августе 2005 г. по маршруту, приведенному на рис. 5.

Помимо непрерывных наблюдений при движении станции, в гг. Ангарск, Усолье-Сибирское, Тулун, Нижнеудинск, Тайшет, Канск, Красноярск, Ачинск проводились измерения на стоянках на въезде в город, вблизи центра города и на выезде. Такие наблюдения проводились с целью оценки вклада городской циркуляции в накопление примесей на его территории и в изменение термодинамического режима. Рис. 6 демонстрирует места, выбранные для стоянок в Ачинске. В остальных городах измерения проводились по такой же схеме.

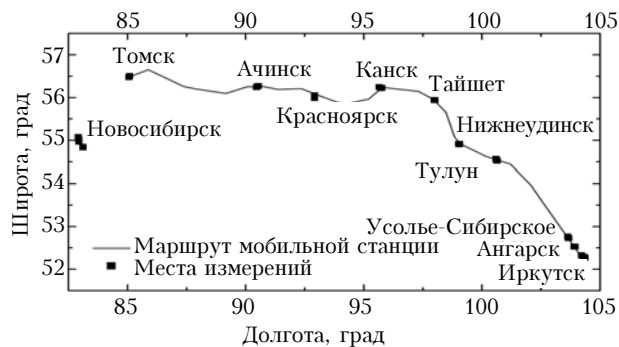


Рис. 5. Маршрут работы мобильной станции в феврале–марте 2004 г.

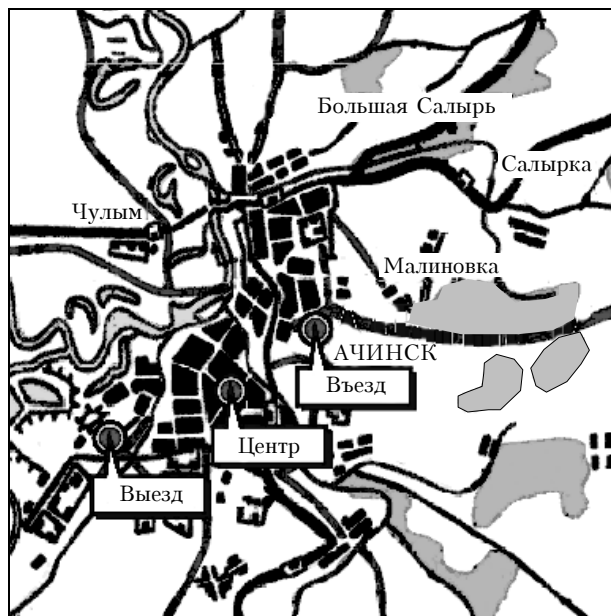


Рис. 6. Схема пунктов измерений в г. Ачинске 29.02.2004 (07–11 ч местн. вр.)

## Результаты измерений

Данные измерений во всех перечисленных городах выявили на их территории наличие процессов накопления примесей и изменение термодинамического режима. Конечно, идеального совпадения с теорией не наблюдается. Тем не менее некоторые общие закономерности имеются.

Обратимся к рис. 7, на котором приведены значения концентраций газов и аэрозоля, величины температур и относительной влажности в г. Ачинске.

Видно, что в центральной части, где обычно скапливаются примеси, концентрация  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{NS}$  в несколько раз выше, чем на периферии города. Содержание озона, наоборот, значительно ниже. Это нормальное явление, если учесть, что озон не выбрасывается

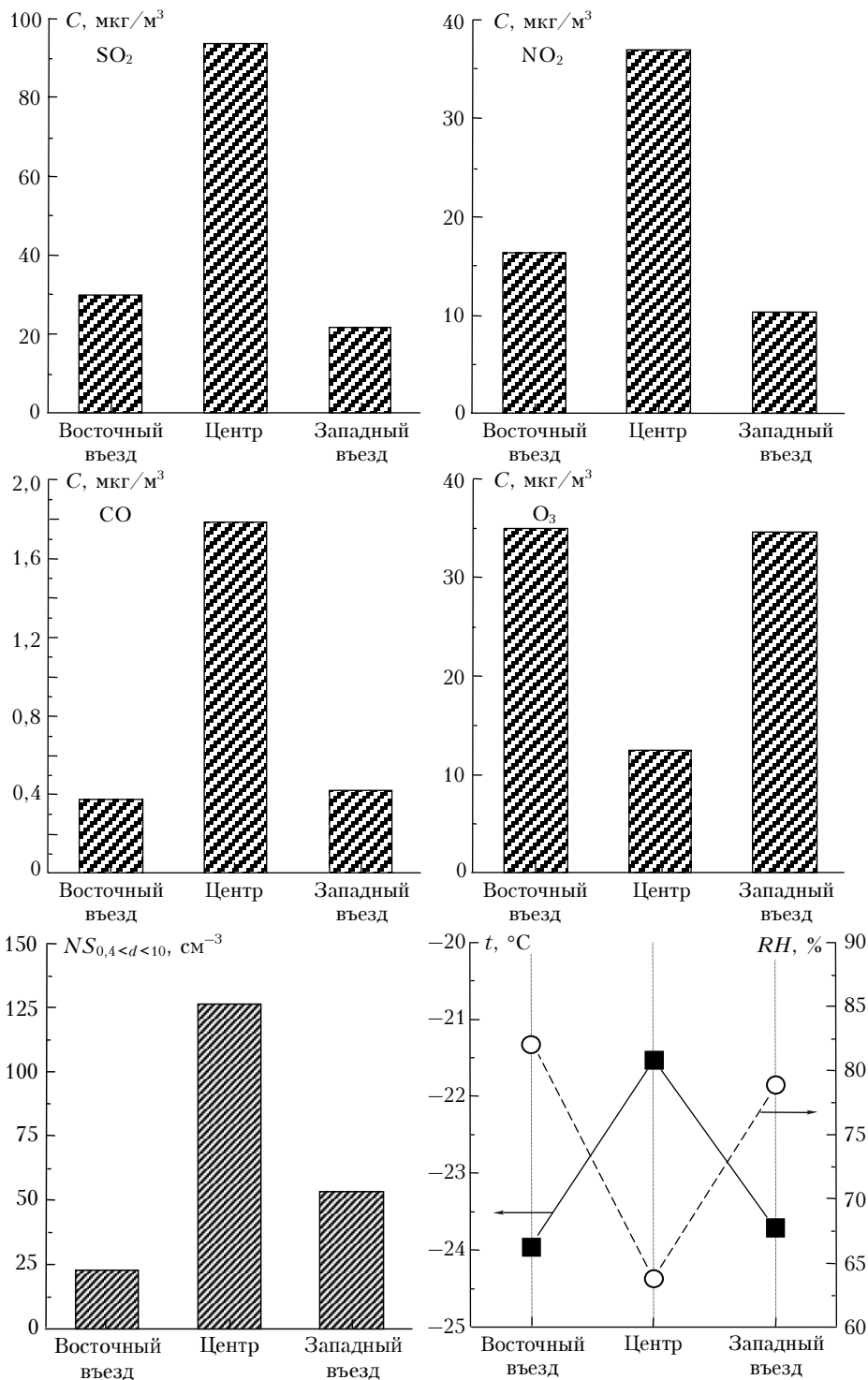


Рис. 7. Концентрации диоксида серы и азота, оксида углерода, озона, счетной концентрации аэрозоля ( $\text{NS}$ ), температуры и относительной влажности воздуха в г. Ачинске и на его перифериях 29.02.2004 г.

в воздух предприятиями и автотранспортом, а образуется из примесей непосредственно в атмосфере [11]. При высокой концентрации аэрозоля он начинает взаимодействовать с частицами, что приводит к гибели молекул  $O_3$ .

Данные по температуре воздуха показывают, что в центре она на  $2,5\text{ }^\circ\text{C}$  выше, чем на восточной и западной перифериях города.

Об относительной влажности надо сказать особо. Дело в том, что в научных кругах до сих пор не устоялось мнение: выше она в городе или ниже. Согласно [12] в городе имеются дополнительные источники водяного пара: предприятия, неплотные коммуникации, автотранспорт. С другой стороны, в этой же работе указывается, что в городе в зимнее время снег убирается, значительная территория покрыта асфальтом. Следовательно, естественный источник — испарение с подстилающей поверхности, здесь менее эффективен. Поэтому, зная соотношение между абсолютной и относительной влажностями при фиксированной температуре воздуха [10], можно сделать следующий вывод. Если при повышении температуры воздуха в центре города относительная влажность пропорционально понижается, то это свидетельствует

об отсутствии дополнительных источников водяного пара. Если изменение пропорционально, то источники водяного пара имеются. Возвращаясь к рис. 7, видим, что в Ачинске произошло пропорциональное уменьшение относительной влажности. Следовательно, в городе отсутствуют дополнительные источники влаги.

Подобные рис. 7 графики составлены для всех городов, в которых производились измерения как для летнего, так и для зимнего периодов. Их анализ занял бы слишком много места, поэтому были составлены таблицы, в которых собраны разницы значений параметров между центром и периферией городов:

$$\Delta X = X_{\text{ц}} - X_{\text{п.}}$$

Из этого соотношения ясно, что если в таблице какая-то величина имеет знак «+», то ее значение выше в центре города, если знак «-», то на периферии.

Для зимнего периода данные приведены в табл. 1, для летнего в табл. 2. Надо обратить внимание, что в отличие от зимнего в летний период измерения проводились в большинстве городов дважды: на пути туда и обратно.

Таблица 1

Различия концентраций примесей и метеовеличин между центрами и перифериями городов Сибири в феврале–марте 2004 г.

Город	$t, ^\circ\text{C}$	$RH, \%$	$\text{CO}, \text{мг}/\text{м}^3$	$\text{O}_3, \text{мкг}/\text{м}^3$	$\text{SO}_2, \text{мкг}/\text{м}^3$	$\text{NO}_2, \text{мкг}/\text{м}^3$	$\text{NS}, \text{см}^{-3}$	Примечание
Иркутск	1,74	-9,5	0,23	-29,4	35,4	29,1	6,9	
Ангарск	0,13	0,8	0,30	-22,9	23,0	12,2	10,3	
Усьель-Сибирское	0,78	8,9	-0,36	22,7	-49,9	-20,0	-2,5	Пригород в промзоне
Тулун	0,90	2,9	0,21	-7,5	34,2	15,9	8,5	
Нижеудинск	-0,48	0,7	0,04	-10,8	6,8	0,3	3,6	
Тайшет	-1,27	8,3	2,32	-16,2	11,6	3,3	50,8	Смог
Канск	1,57	-8,8	-0,03	13,1	-24,5	-9,3	-11,3	Пригород в промзоне
Красноярск	6,80	2,2	-0,18	-1,5	63,0	7,8	4,5	Смог
Ачинск	2,19	-15,1	1,36	-22,1	71,9	26,7	73,2	
Новосибирск	1,65	0,3	0,35	-39,9	77,5	29,8	10,7	
Академгородок (Новосибирск)	0,56	7,9	-0,07	-1,1	34,3	17,4	0,3	

Таблица 2

Различия концентраций примесей и метеовеличин между центрами и перифериями городов Сибири в августе 2005 г.

Город	$t, ^\circ\text{C}$	$RH, \%$	$\text{CO}, \text{мг}/\text{м}^3$	$\text{O}_3, \text{мкг}/\text{м}^3$	$\text{SO}_2, \text{мкг}/\text{м}^3$	$\text{NO}_2, \text{мкг}/\text{м}^3$	$\text{NO}, \text{мкг}/\text{м}^3$	Дата
Ангарск	-0,6	6,4	2,5	-29	-6,1	33	260	11.08
Усьель-Сибирское	0,2	-4,6	-1,2	34	-5,0	-12	-11	08.08
Усьель-Сибирское	4,0	-16,6	-3,8	1	3,8	12	-18	11.08
Тулун	-0,3	2,2	0,1	9	4,0	0,3	26	07.08
Тулун	0,0	3,2	0,1	-10	3,9	2,4	28	11.08
Нижеудинск	-0,6	-3,0	0,1	9	-3,0	0,4	2	07.08
Нижеудинск	-0,5	2,4	1,1	-7	4,0	2,2	0	11.08
Тайшет	0,1	5,2	0,1	-17	7,2	2,6	57	07.08
Тайшет	-0,4	-4,0	-0,2	-2	-3,0	3,2	9	11.08
Канск	0,3	4,3	0,2	-14	-14,0	10,8	-16	06.08
Канск	-0,1	-10,5	0,1	12	-2,9	1,4	-40	12.08
Красноярск	1,0	-6,0	0,2	-1	3,2	4,0	28	05.08
Красноярск	1,5	-9,9	0,1	7	-9,8	2,4	10	12.08
Ачинск	-1,2	0,7	0,2	2	-	-14	-150	06.08
Ачинск	1,8	-7,6	0,1	-1	-	5,3	27	12.08
Маршинск	1,9	-12,1	0,3	20	-	-3,9	3	05.08
Маршинск	-0,2	-1,4	0,1	11	1,1	-4,0	1	13.08
Новосибирск	-0,1	3,5	0,2	-14	0,9	9,0	111	01.07

Из данных табл. 1 видно, что в большинстве случаев температура воздуха в центре города выше, чем на периферии (в 9 из 11 городов). И перепад температур, тем выше, чем больше город, в котором производились измерения. Очевидно, что здесь сказываются как количество предприятий и автотранспорта, так и утечки тепла из жилого фонда.

Относительная влажность изменяется от города к городу с большим разбросом. И все же из табл. 1 можно сделать вывод, что на территории восьми из 11 городов имеются дополнительные источники водяного пара.

Источником оксида углерода в городе в основном является автотранспорт. Естественно, что его плотность выше в центральной части городов. Это и отражает табл. 1. Исключение составляют Усолье-Сибирское, где периферийная точка измерений оказалась вблизи промзоны, и Красноярск, в котором измерения в центре проводились в ночное время. По-видимому, периферийные точки снимались в более активное для автотранспорта время. Разница в Канске и Новосибирском академгородке близка к погрешности измерения этого параметра.

Озон, как уже отмечалось выше, в центральной части городов подвергается деструкции в свежих выбросах и быстро восстанавливается на периферии. Из табл. 1 видно, что такая картина наблюдается в 9 городах из рассматриваемых 11. В двух городах, где фоновые точки попадали под действие промзоны, картина обратная.

Для диоксидов серы и азота, источником которых являются выбросы разной природы, характерны повышенные концентрации в центре городов и пониженные на периферии. Исключения опять же характерны для двух городов, фоновые измерения в которых проводились в промзоне.

Концентрация частиц  $d \geq 0,4$  мкм приведена в последней колонке табл. 1. Данные этой колонки также показывают повышенные значения в центральной части городов и пониженные на периферии. За исключением, конечно, тех случаев, когда фон измерялся в районе промзоны.

Таким образом, выбросы промпредприятий и автотранспорта в большинстве промышленных городов Сибири в зимний период оказываются источником повышенных концентраций примесей в их атмосфере,

которые не только не рассеиваются, но и, по-видимому, накапливаются.

Из табл. 2 следует, что, в отличие от зимнего периода [8], различия между центром города и периферией в концентрациях и метеовеличинах в летний период значительно разнообразнее. Основное отличие заключается в том, что не прослеживается устойчивой закономерности в распределении разностей, какая отмечалась для зимнего периода. Очевидно, что это обусловлено лучшими рассеивающими свойствами атмосферы региона в летний период.

Какие вещества находятся в составе аэрозольных частиц, можно увидеть из табл. 3. Она составлена в относительных единицах и представляет относительное превышение концентрации отдельных элементов и ионов  $X_{ц}$  над фоном  $X_{п}$ :

$$\partial X = (X_{ц} - X_{п}) / X_{п}$$

Из данных табл. 3 видно, что в большинстве случаев химических элементов в городских пробах в 2–3 раза больше, чем в фоновых. Иногда превышение может составлять по отдельным элементам или соединениям десятки раз, например Si – в Иркутске, Al – в Ачинске, Ca – в Усолье-Сибирском.

Отметим, что приведенные выше данные получены в ходе одного зимнего обследования, поэтому отражают не весь спектр возможных ситуаций.

Помимо исследования неорганической фракции аэрозоля, в городах Иркутско-Черемховской промышленной зоны (Иркутск, Ангарск, Усолье-Сибирское) пробы аэрозоля отбирались также на стекловолнистые фильтры «Whatman 41» для определения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), являющихся микрокомпонентами аэрозоля и относящихся к суперэкоксикантам 1-го класса опасности [13].

Непосредственно количественный химический анализ на определение ионно-элементного состава и содержание полиароматических углеводородов осуществлялся по окончании экспедиции в стационарных лабораториях Иркутского лимнологического института (ПАУ, гидрокарбонат-анион) и Томского государственного университета (элементы и другие ионы).

В аэрозоле городов суммарные концентрации приоритетных ПАУ изменялись от 20 до 30 нг/м<sup>3</sup> (табл. 4). При этом концентрация бенз(а)пирена

Таблица 3

Относительное превышение содержания ионов и элементов в составе аэрозольных частиц, отобранных в центральной и периферийных частях сибирских городов

Город	Si	Ca	Al	Mg	Ti	Fe	Mn	B	Cu	Ni	V	Cr	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Иркутск	88,8	-0,3	3,9	8,8	13,3	23,8	33,5	25,4	0,8	22,5	0,7	0,4	2,8	-	19,0	10,5
Ангарск	-	0,7	9,5	0,5	1,2	9,6	-0,8	-1,0	-0,2	-0,6	-0,4	2,5	-	-	-	-
Усолье-Сибирское	0,4	20,1	1,3	2,5	3,4	2,9	6,5	-0,7	3,5	9,6	3,9	-1,0	0,9	-0,8	-1,3	1,0
Тулун	9,1	0,3	0,7	9,5	1,2	1,2	10,2	-	3,5	-1,0	1,6	1,7	-0,5	3,7	2,0	7,4
Нижеудинск	5,4	2,6	4,6	2,7	3,3	3,4	2,8	-	-0,6	-0,5	1,2	-	18,3	-	-	-1,0
Канск	22,6	0,1	-	1,0	-	-	-	-	1,1	1,2	-	1,2	0,9	4,4	2,1	1,0
Ачинск	1,2	23,4	37,4	9,4	2,0	1,6	46,6	-1,0	0,6	-1,0	9,3	6,3	1,0	6,3	0,1	7,7
Новосибирск	3,3	3,0	5,3	6,0	2,5	2,2	6,3	0,4	0,6	-1,0	0,1	9,8	0,1	0,2	10,9	1,4

Примечание. Тире – элемент или ион в фоновой пробе отсутствовал.



Таблица 4

**Уровни концентраций ПАУ в аэрозоле (нг/м<sup>3</sup>) городов Иркутской области, отобранных 26.02.2004 г.**

ПАУ	Место отбора проб				
	Иркутск, Академгородок	Иркутск, Ново-Ленино	Ангарск, промзона	Ангарск, жилая зона	Усолье-Сибирское, промзона
Фенантрен	1,1	15,0	15,8	12,6	16,8
Антрацен	0,14	1,4	< 0,001	0,53	1,2
Флуорантен	3,1	10,2	14,4	6,7	23,9
Пирен	2,4	7,3	7,9	3,8	13,8
Бенз(а)антрацен	1,2	4,7	0,7	< 0,001	2,3
Хризен	2,3	4,8	1,6	< 0,001	4,6
Бенз(б)флуорантен	2,6	5,7	1,2	1,6	4,2
Бенз(к)флуорантен	0,21	7,3	0,94	< 0,001	3435
Бенз(е)пирен	2,2	4,0	0,87	0,75	2,6
<b>Бенз(а)пирен</b>	<b>0,31</b>	<b>7,2</b>	<b>0,58</b>	<b>0,53</b>	<b>2,7</b>
Перилен	0,29	1,3	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Индено(1,2,3-с, d)пирен	2,8	9,7	1,3	1,2	4,0
Дибенз(а, h)антрацен	0,6	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Бенз(г, h, i)перилен	2,4	8,9	1,4	1,7	3,3
<b>Сумма ПАУ</b>	<b>21,6</b>	<b>87,5</b>	<b>46,7</b>	<b>29,4</b>	<b>82,7</b>

не превышала ПДК, составляющую 1 нг/м<sup>3</sup>. Повышенные концентрации суммы ПАУ в аэрозоле обнаружены в промышленной зоне г. Иркутска (Ново-Ленино) и г. Усолье-Сибирское. Концентрация бенз(а)пирена в этих районах превышала ПДК в 7 и 2,5 раза соответственно. В более ранних исследованиях [13], проведенных в г. Иркутске, суммарные концентрации 12 ПАУ в различных районах города в зимний период изменялись от 25 до 300 нг/м<sup>3</sup>, а бенз(а)пирена от 0,8 до 30 нг/м<sup>3</sup>. По данным Росгидромета [14], если в 1996 г. усредненные за год превышения ПДК по бенз(а)пирену составляли: в Иркутске – 6,5 ПДК, Ангарске – 6, Усолье-Сибирском –

2,8 ПДК, то в 2002 г. в Иркутске и Усолье-Сибирском эти превышения возросли до 10,4 и 6,2 ПДК соответственно, и лишь в Ангарске оно снизилось до 2,8 ПДК [15]. Такая динамика согласуется с полученными в нашей комплексной экспедиции данными.

Концентрации ПАУ, а также процентное соотношение между ними определяются местом отбора проб аэрозоля, т.е. расположением источников загрязнения. В ряду идентифицированных ПАУ в парковой и промышленной зонах г. Ангарска преобладают фенантрен, пирен и флуорантен, их суммарное количество достигает 80% от массы обнаруженных ПАУ (рис. 8).

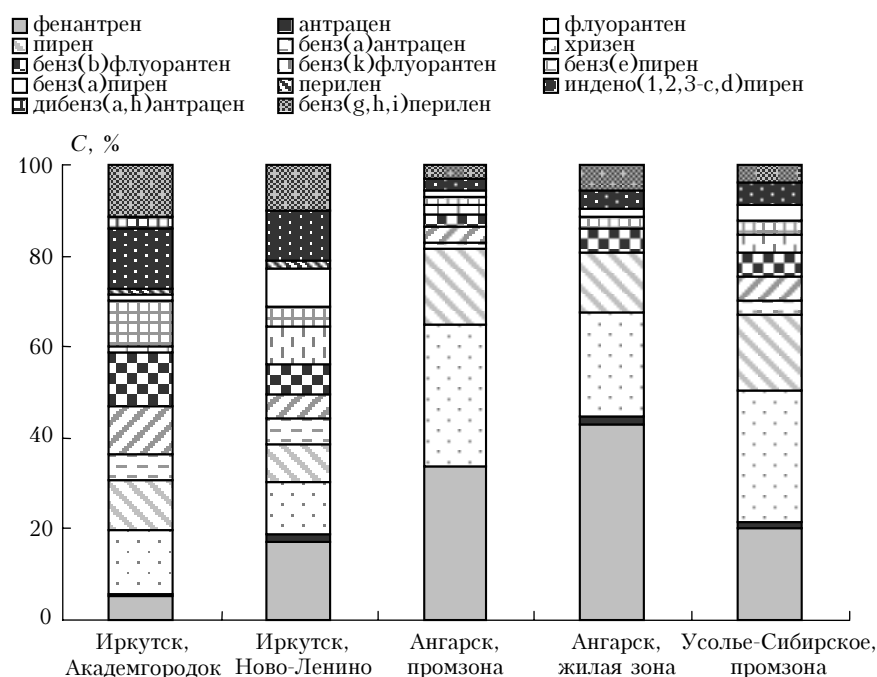


Рис. 8. Процентное соотношение между индивидуальными ПАУ в пробах аэрозоля, собранных в городах Иркутской промзоны

Сходство процентных соотношений ПАУ в аэрозоле, собранном в этих двух районах, указывает на перенос загрязняющих веществ от промышленной зоны в жилую зону г. Ангарска. Районы Академгородка и Ново-Ленино в г. Иркутске отличаются высоким содержанием бенз(g,h,i)перилена и индено(1,2,3-c,d)пирена, которые являются индикаторами загрязнения воздуха автомобильным транспортом [16]. К основным источникам ПАУ в районе Ново-Ленино относятся котельные средней и малой мощности, использующие слоевой способ сжигания угля, а также частный сектор с печным отоплением [17], при котором происходит недожог топлива, на что указывает высокое содержание бенз(a)пирена в пробах аэрозоля из этого района.

### Заключение

В ходе проведенных экспериментальных исследований выявлено, что в зимний период в промышленных городах Сибири, вследствие наличия особой локальной циркуляции, создаются своеобразные поля распределения примесей. Их концентрация выше в центральных частях и уменьшается к периферии. Это же относится и к термодинамическим характеристикам воздуха.

В летний период из-за улучшения рассеивающих свойств атмосферы эффекты воздействия локальной циркуляции значительно ослабляются. В результате четкое накопление примесей в центральных частях городов прослеживается не всегда.

1. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985. 256 с.
2. Пененко В.В., Коротков М.Г. Применение численных моделей для прогнозирования аварийных и экологически неблагоприятных ситуаций в атмосфере // Оптика атмосф. и океана. 1998. Т. 11. № 6. С. 567–572.
3. Пененко В.В., Цветова Е.А. Методы и модели для изучения природной среды и оценки экологических рисков // Оптика атмосф. и океана. 2002. Т. 15. № 5–6. С. 412–418.
4. Белан Б.Д. Самолетное экологическое зондирование атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 1993. Т. 6. № 2. С. 205–222.
5. Белан Б.Д., Ковалевский В.К., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н., Рассказчикова Т.М. Структура аэрозольных

- «шапок» над промышленными центрами // Оптика атмосф. и океана. 1996. Т. 9. № 6. С. 755–780.
6. Ландсберг Г.Е. Климат города. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 248 с.
  7. Белан Б.Д. Динамика слоя перемешивания по аэрозольным данным // Оптика атмосф. и океана. 1994. Т. 7. № 8. С. 1044–1054.
  8. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Пирогов В.А., Покровский Е.В., Симоненков Д.В., Ужегова Н.В., Фофонов А.В. Сравнительная оценка состава воздуха промышленных городов Сибири в холодный период // Геогр. и природ. ресурсы. 2005. № 1. С. 152–157.
  9. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Покровский Е.В., Симоненков Д.В., Ужегова Н.В., Фофонов А.В. Мобильная станция АКВ-2 и ее применение на примере г. Томска // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18. № 8. С. 643–648.
  10. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. СПб.: Гидрометеоиздат, 2000. 360 с.
  11. Белан Б.Д. Проблема тропосферного озона и некоторые результаты его измерений // Оптика атмосф. и океана. 1996. Т. 9. № 9. С. 1184–1213.
  12. Оке Т.Р. Климаты пограничного слоя. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 360 с.
  13. Гориков А.Г., Маринайте И.И. Мониторинг экотоксикантов в объектах окружающей среды Прибайкалья. Часть I. Определение полициклических ароматических углеводородов в аэрозоле промышленных центров (на примере г. Иркутска) // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13. № 10. С. 967–970.
  14. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Иркутской области // Государственный комитет по охране окружающей среды Иркутской области Госкомэкологии России. Администрация Иркутской области. Иркутск: ОАО «Облмашинформ», 1999. 320 с.
  15. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области // Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Иркутской области. Иркутск, 2004. 327 с.
  16. Суздорф А.Р., Морозов С.В., Кузубова Л.И., Аншиц Н.Н., Аншиц А.Г. Полициклические ароматические углеводороды в окружающей среде: источники, профили и маршруты превращения // Химия в интересах устойчивого развития. 1994. Т. 2. № 2–3. С. 511–540.
  17. Моложникова Е.В. Учет загрязнения окружающей среды аэрозолями в задачах развития энергетических систем: Автореф. дис.... канд. техн. наук. Иркутск: Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева, 2003, 24 с.

*B.D. Belan, G.A. Ivlev, A.S. Kozlov, I.I. Marinaite, V.V. Penenko, E.V. Pokrovskii, D.V. Simonenkov, A.V. Fofonov, T.V. Khodzher. Comparative estimate of air composition in industrial cities of Siberia.*

The air quality in summer and winter periods was studied in 11 cities of Siberia (from Irkutsk to Novosibirsk) with the help of a mobile station. At present, an industrial city is shown to be in winter period not only the island of heat, but the island of pollution as well. The admixture concentration in the center of most cities is significantly higher than at its periphery. Ozone is a sole exception, which, obviously, is decomposed inside plant emissions in the center and is restored at the periphery. In summer period, the local circulation action becomes much weaker; and the difference between the center and periphery smoothes down.