

УДК 504.054

**ЭВОЛЮЦИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ И ОСОБЕННОСТИ
ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРОДА**
М. А. Битехтина, С. В. Михайлюта, А. А. Леженин, О. В. Тасейко

LAPSE RATE EVOLUTION AND URBAN AIR POLLUTION
M. A. Bitekhtina, S. V. Mikhailuta, A. A. Lezhenin, O. V. Taseiko

По результатам исследования вертикальных профилей температуры и измерений концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы на территории Красноярска выявлены условия формирования экстремально высоких уровней загрязнения и описаны характерные ситуации. Показано, что увеличению уровней загрязнения способствует развитие слоя перемешивания под нижней границей приподнятой инверсии.

By research of lapse rate evolution and urban air pollutant concentrations measurement in Krasnoyarsk territory conditions for extremely high levels of pollution formation are revealed and specific situations are described. It is shown that the increases in levels of pollution are caused by development of a mixing layer under the bottom border of the raised inversion.

Ключевые слова: атмосферный городской пограничный слой, загрязнение атмосферного воздуха города, инверсия температуры

Keywords: urban air pollution, urban boundary layer, lapse rate, high levels of urban air pollution

Наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха в городах проводятся для получения информации, необходимой для эффективного управления качеством окружающей среды и здоровья населения. При этом основным фактором, способствующим очищению атмосферы или приводящим к ее экстремально высокому загрязнению, является состояние пограничного слоя атмосферы [1, 2]. Известно, что особо опасное загрязнение приземного слоя атмосферы имеет место, когда над городом развивается приподнятая инверсия, сопровождаемая слабым ветром. При таких условиях, выбросы от источников, расположенных ниже границы инверсионного слоя, циркулируют в нижнем, приповерхностном слое атмосферы.

Целью данной работы является расширение имеющихся представлений об особенностях эволюции городского пограничного слоя атмосферы в контексте загрязнения атмосферного воздуха. Для достижения поставленной цели использовались результаты измерения вертикального профиля температуры и концентрации загрязняющих веществ на территории города Красноярска.

Методы исследования

Особенности эволюции городского атмосферного пограничного слоя исследуются на основе данных микроволнового зондирования [3, с. 678 – 688]. Температурный профилемер МТП-5 позволяет отображать термическую структуру нижнего 600-метрового слоя атмосферы и получать ее временную динамику с достаточным разрешением. Измерения с помощью прибора МТП-5 на территории г. Красноярска проводятся с 2004 года. В работе рассмотрены «характерные ситуации» на примере результатов измерений, выполненных в 2005 году.

В качестве источника данных о концентрации загрязняющих веществ на территории города Красноярска использовались данные стационарных постов мониторинга и результаты непрерывных маршрутных измерений с помощью передвижной газоаналитической лаборатории [4]. Эпизоды загрязнения продемонстрированы на примере изменения концентраций оксида углерода (СО слабо участвует химических реакциях в процессе распространения [2]).

Результаты и обсуждение

Изменение уровня загрязнения атмосферного воздуха обусловлено структурой и режимом выбросов и особенностями метеорологических режимов, которые на территории города обладают значительной временной и пространственной изменчивостью. Зависимость загрязнения воздуха от термической стратификации в наибольшей степени проявляется при слабых ветрах. При умеренных ветрах (около 3 – 5 м/с) с

усилением устойчивости атмосферы загрязнение воздуха снижается, и высокие концентрации примесей наблюдаются при неустойчивой стратификации из-за попадания примесей от высоких источников в нижние слои. При сильных ветрах связь между концентрациями примесей в городском воздухе и вертикальными профилями температуры практически отсутствует. Ниже приведены результаты исследований особенностей загрязнения атмосферы Красноярска для «типичных метеорологических состояний»:

- 1) условия неустойчивого состояния атмосферы с развитым слоем перемешивания и скоростью ветра у земли до 5 м/с в зимнее время;
- 2) условия неустойчивого состояния атмосферы с развитым слоем перемешивания и скоростью ветра у земли до 5 м/с в летнее время;
- 3) условия смены метеорологических режимов с высокими скоростями ветра;
- 4) условия устойчивой атмосферы с низкими скоростями ветра.

Неустойчивое состояние атмосферы в зимний период характеризуется термическим профилем, близким к адиабатическому (рис. 1).

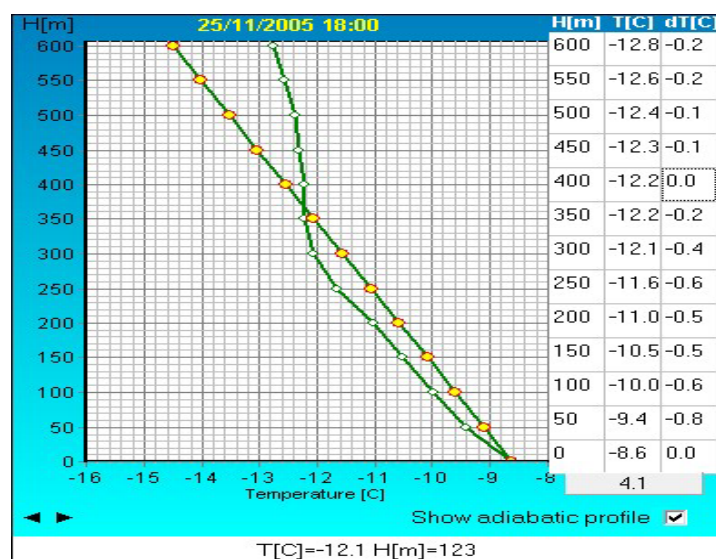


Рис. 1. Высотный профиль температуры над г. Красноярском 25 ноября 2005 г. в 18-00 часов местного времени (неустойчивое состояние атмосферы)

При таких условиях вертикальный обмен в нижнем слое атмосферы происходит достаточно интенсивно, что способствует рассеиванию загрязняющих веществ. Суточная динамика концентрации оксида углерода (CO) для этих условий приведена на рисунке 2.

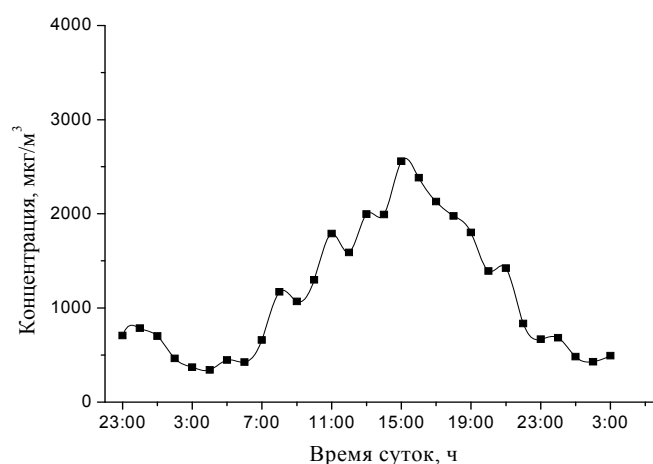


Рис. 2. Суточная динамика концентрации оксида углерода при неустойчивом состоянии атмосферы

Можно видеть, что максимум загрязнения атмосферного воздуха оксидом углерода наблюдается в дневное время, в 15 часов. Такой ход обусловлен тем, что основное количество оксида углерода поступает в воздух с выхлопными газами автомобилей. В ночные часы автотранспорт практически отсутствует на улицах и концентрация CO снижается.

В летний период часто встречаются условия, в которых температурный профиль близок к адиабатическому в дневное время, но ближе к вечеру изменяется, и у поверхности формируется инверсионный слой, который сохраняется до восхода солнца (рис. 3).

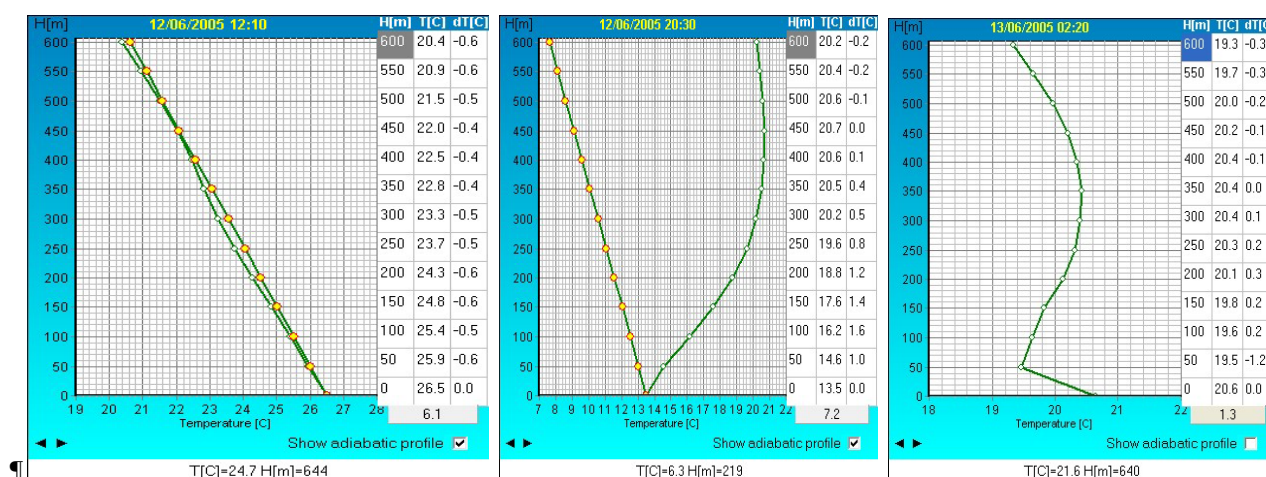


Рис. 3. Высотный профиль температуры над г. Красноярском 12 июня 2005 г. в 12 ч. 10 мин. и в 20 ч. 30 мин. и 13 июня в 2 ч. 20 мин.

Видно, что 12 июня 2005 г. в районе девяти часов вечера температурный профиль характеризуется инверсионным распределением с интенсивностью 7,2 °С и мощностью 450 метров. На рисунке 4 показана суточная динамика концентрации СО для этих условий.

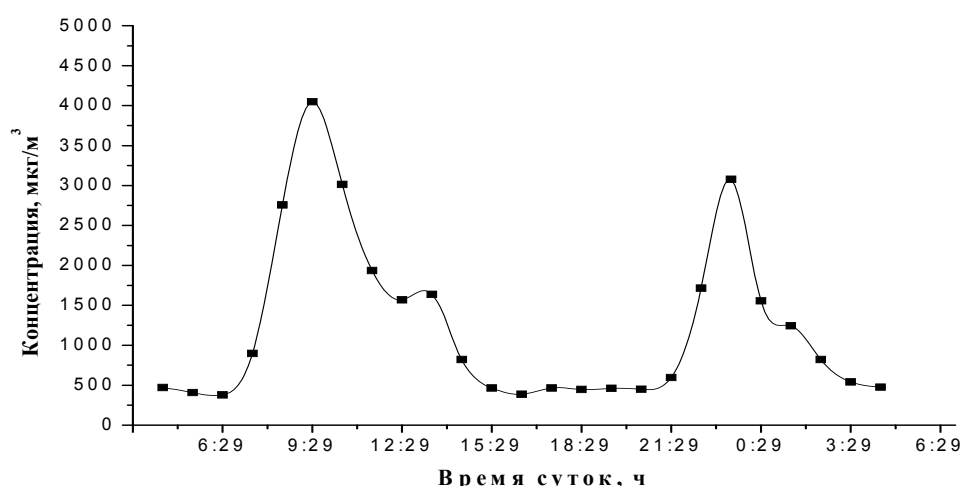


Рис. 4. Характерная суточная динамика концентрации оксида углерода в летний период

Загрязняющие вещества, поступающие в атмосферу города в течение ночи, почти не рассеиваются из-за большой устойчивости. Утром происходит дополнительное увеличение выбросов за счет появления автотранспортных источников, поэтому максимальное содержание примесей в воздухе наблюдается в утренние часы. После восхода солнца происходит разрушение основания инверсии вблизи земной поверхности и увеличение скорости ветра. Несмотря на то, что выбросы от низких источников возросли, теперь они поступают в постепенно увеличивающийся объем воздуха, что приводит к уменьшению уровней загрязнения воздуха до минимума в последующие часы. Вечерний максимум загрязнения связан с усилением устойчивости (формирование приземной инверсии и ослабление ветра).

Следующая характерная картина наблюдается во время смены метеорологических режимов, сопровождающихся высокими скоростями ветра. При таких условиях концентрации загрязняющих веществ принимают малые значения в течение дня и меняются незначительно (рис. 5).

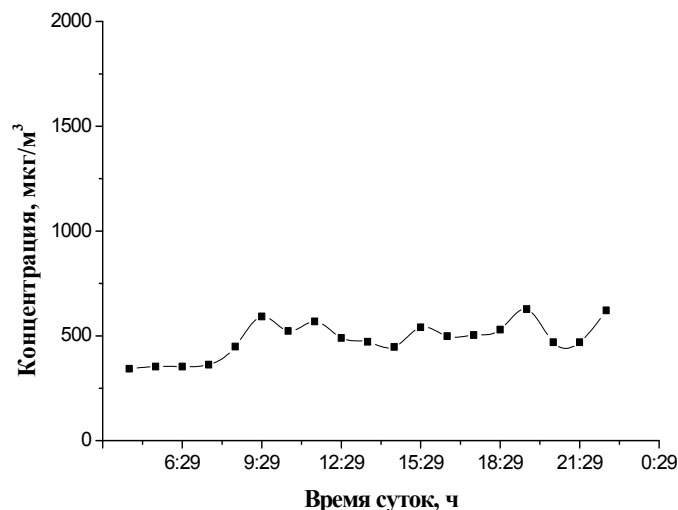


Рис. 5. Характерная суточная динамика концентрации оксида углерода при смене метеорологических режимов

Метеоусловия, при которых наблюдается устойчивая стратификация с низкими скоростями ветра, достаточно часто можно встретить на территории г. Красноярск в зимний период (около 40 % времени). Длительное сохранение инверсии над городом может значительно увеличивать концентрацию загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы. Такая ситуация, например, наблюдалась в г. Красноярске с 10 по 16 декабря 2005 года (рис. 6). В этот период над городом наблюдалась устойчивая стратификация температуры, интенсивность инверсии принимала минимальные значения (5°C на начало периода, 10 декабря) в утренние часы и затем постепенно усиливалась к вечеру (до 8°C). Интенсивность приземной инверсии усиливалась и к концу рассматриваемого периода достигла значения 16°C и имела мощность 600 метров. От начала до конца этого периода значения концентрации СО находились на уровне ПДКм.р.

Повышенное содержание примесей в воздухе наблюдается и при сочетании приземной и приподнятой инверсии. Так, например, в период с 10 по 13 января 2005 года над городом существовало инверсионное распределение температуры на высоте 800-1000 метров (данные температурного ветрового зондирования на аэрологической станции Емельяново, индекс ВМО #29570). В это же время в центре города сформировалась приземная инверсия мощностью 500 метров и интенсивностью 8°C (рис. 7).

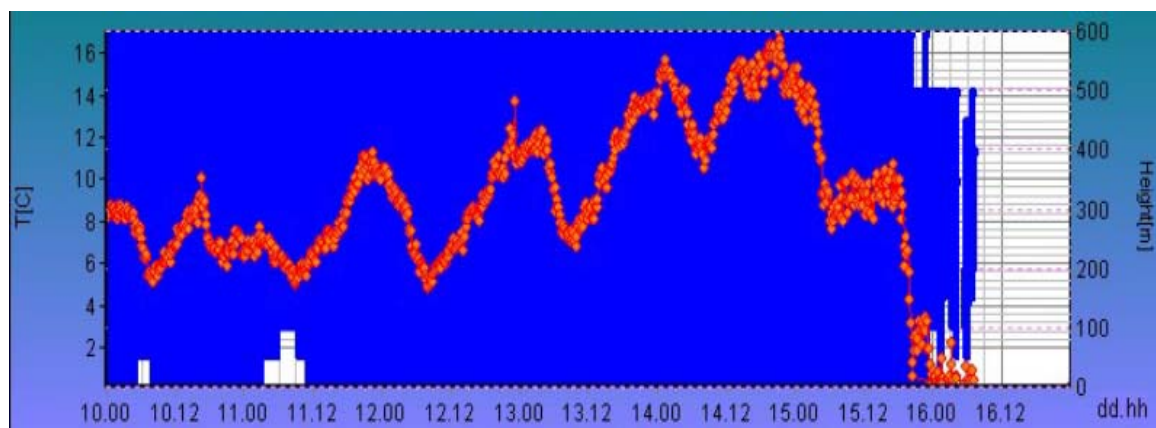


Рис. 6. Интенсивность и мощность инверсии 10-16 декабря 2005 г. над г. Красноярском. По оси абсцисс – число и время наблюдения, по осям ординат – интенсивность (красная кривая, левая шкала) и высота инверсии (закрашенный участок, правая шкала)

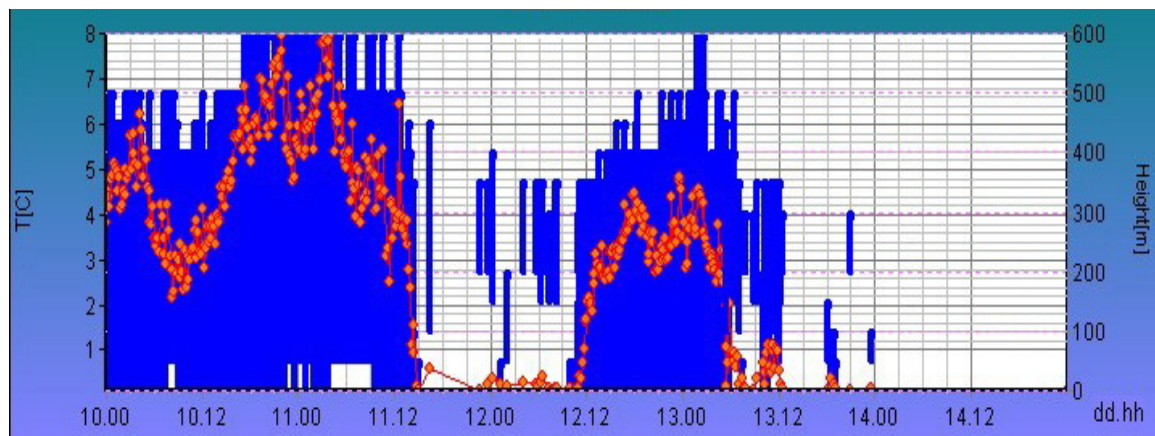


Рис. 7. Интенсивность и мощность инверсии 10-14 января 2005 г. над г. Красноярском.
По оси абсцисс – число и время наблюдения, по осям ординат – интенсивность (красная кривая, левая шкала) и высота инверсии (закрашенный участок, правая шкала)

Такая ситуация сохранялась до 14 часов 11 января, а затем произошло разрушение приземной инверсии, сопровождаемое развитием слоя перемешивания под нижней границей приподнятой инверсии (на высоте 700 метров), которая за это время не претерпевала существенных изменений. Развитие данной ситуации привело к резкому увеличению (в 3 – 5 раз) концентрации основных загрязняющих веществ. Тот факт, что мы наблюдаем развитие слоя перемешивания под нижней границей приподнятой инверсии, подтверждает увеличение концентрации диоксида серы. Так, среднее содержание диоксида серы составляет $0,003 \text{ мг/м}^3$, а в рассматриваемой ситуации концентрация диоксида серы достигала $0,02 \text{ мг/м}^3$.

Закключение

Рассмотренные в работе ситуации не исчерпывают всего многообразия метеорологических явлений и сопутствующих им эпизодам экстремально высокого загрязнения атмосферного воздуха, но уже сейчас позволяют нам получить представление об основных закономерностях эволюции пограничного слоя атмосферы над городом и наметить направление дальнейших инструментальных исследований. Так, понятно, что особое внимание необходимо уделить условиям, в которых может наблюдаться развитие слоя перемешивания под нижней границей приподнятой инверсии. При этом, как было выяснено в ходе проведенных исследований, не всегда достаточно данных, получаемых только с МТП-5, поскольку все результаты, получаемые с этого прибора, ограничиваются высотой 600 метров, в то время как характерные высоты развития инверсионных слоев над территорией г. Красноярска достигают 1000 метров. В дальнейшем исследования метеорологических режимов и потенциала загрязнения атмосферного воздуха должны идти по пути совместного синхронного использования автоматических микроволновых профиломеров и автономных автоматических средств измерения концентраций загрязняющих веществ в различных частях городской территории.

Литература

- Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 271 с.
- Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека // Региональные публикации ВОЗ. Европейская серия. – Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ. – 2001. – № 85. – 293 с.
- Кузнецова, И. Н. Влияние городской среды на температуру в пограничном слое атмосферы по данным микроволновых измерений в Москве и окрестностях / И. Н. Кузнецова, М. Н. Хайкин, Е. Н. Кадыгров // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2004. – Т. 40. – № 5.
- Михайлюта, С. В. Динамика загрязнения атмосферы в условиях города / С. В. Михайлюта, О. В. Тасейко, Ю. В. Захаров. – Lambert academic publisher, 2011. – 136 с.

Информация об авторах:

Битехтина Мария Александровна – аспирантка кафедры физики, СибГТУ, т. 8-950-424-16-32, mabitekhtina@gmail.com.

Bitekhtina Maria Aleksandrovna – post-graduate student at the Department of Physics of Siberian State Technological University.

Михайлюта Сергей Владимирович – кандидат технических наук, генеральный директор НП «Центр Прикладной Геоэкологии», ГУ «Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт», т. 8-923-280-47-80, mikhailuta@gmail.com.

Mikhailyuta Sergey Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Director of the Centre for Applied Geoeology of the Siberian Regional Hydrometeorological Research Institute.

Леженин Анатолий Александрович – старший научный сотрудник, ИВМиМГ СО РАН, lezhenin@ommfao.ssc.ru.

Lezhenin Anatoliy Alexandrovich – senior researcher at the Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of the Siberian Branch of the RAS.

Тасейко Ольга Викторовна – кандидат физико-математических наук, исполнительный директор НП «Центр Прикладной Геоэкологии», доцент кафедры экологии СибГАУ, т. 8-923-280-52-10, taseiko@gmail.com

Tasejko Olga Viktorovna – Candidate of Physics and Mathematics, Executive Director of the Centre for Applied Geoeology, Associate Professor at the Department of Ecology of Siberian State Aerospace University.