

**М.Ю. Аршинов, Б.Д. Белан, Д.К. Давыдов, Г.А. Ивлев, А.В. Козлов,  
Д.А. Пестунов, Е.В. Покровский, Д.В. Симоненков, Н.В. Ужегова,  
А.В. Фофонов**

## **Мобильная станция АКВ-2 и ее применение на примере г. Томска**

*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 6.06.2005 г.

Дается описание мобильной станции АКВ-2, разработанной и изготовленной в ИОА СО РАН. Станция предназначена для измерения состава воздуха как в городских, так и в фоновых условиях. Она отличается от ранее применяемых тем, что позволяет производить измерения не только на стационарных точках, но и во время движения автомобиля. Это существенно ускоряет процесс обследования состояния воздуха на городских территориях. Приводятся результаты обследования г. Томска в июне 2004 г.

Несмотря на спад производства, начавшийся на постсоветском пространстве в 90-х гг. и затянувшийся до сих пор, во многих городах качество воздуха остается неудовлетворительным. Об этом можно судить по ежегодным обзорам, публикуемым природоохранными организациями [1–4]. Это обусловлено тем, что уменьшение выбросов промышленными предприятиями скомпенсировано выхлопными выбросами автотранспорта, количество единиц которого увеличилось в разы.

Разработанные В.В. Пененко [5–7] методы и модели, а затем и расчеты, проведенные для конкретных регионов, показали, что город является не только «островом тепла», но и «островом загрязнений» из-за особенностей локальной циркуляции воздуха, возникающей в его окрестностях.

Приводимые В.В. Пененко данные не только существенно изменяют современные представления об аэрации городов, но и позволяют объяснить целый ряд фактов, установленных экспериментально и не поддающихся интерпретации на основании сложившихся представлений. Это, в частности, касается быстрого восстановления (1–2 дня) фотохимического равновесия в воздухе промышленного центра после прохождения через город атмосферного фронта, очищающего его от загрязнений.

Зона локальной циркуляции зависит от масштаба города, количества и мощности предприятий. Выбросы, попадающие в ее зону, накапливаются до определенного уровня. Поскольку температура воздуха внутри образовавшейся колонки выше, то он начинает подниматься. По данным [8] вначале колонка с примесями имеет вертикальный вид, а затем под действием основного потока она начинает наклоняться, приобретать горизонтальный вид на значительном удалении от города и распространяться вблизи верхней границы пограничного слоя атмосферы. Высота этого слоя зависит от сезона,

и он отделяется от свободной атмосферы задерживающим слоем [9].

Все вышеизложенное требует нетрадиционных методов исследования распределения примесей в атмосфере городов. В связи с этим в ИОА СО РАН разработана и изготовлена мобильная станция АКВ-2, предназначенная для контроля состава воздуха в городах и их окрестностях. В настоящей статье дается описание ее технических характеристик и некоторых результатов, полученных с ее помощью.

Станция должна иметь возможность производить измерительные циклы как в стационарном положении, так и на маршрутах. Поэтому в ней предусматривается автономное электропитание измерительной аппаратуры. Оборудование должно иметь широкий диапазон определения характеристик воздуха, позволяющий работать как в фоновых районах, так и в промышленных сильно загрязненных зонах. Все измерения должны, по возможности, быть автоматизированы, и результаты измерений сохраняться на электронных носителях.

В начале 2004 г. мобильная станция была изготовлена на шасси автомобиля ГАЗ-66 КУНГ и прошла первые полевые испытания.

Измерительная аппаратура, состоящая из шести газоанализаторов и двух аэрозольных анализаторов, размещена на стойках в КУНГе автомобиля; там же оборудованы рабочие места для операторов (рис. 1).

Снаружи на задней стенке КУНГа установлена телескопическая мачта ХЖ4.115.025Сп [10], на которой крепятся анеморумбометр М-63, пиранометр М-115м, датчики температуры и влажности. В зависимости от целей исследования на мачту, на разные уровни высоты, также могут быть вынесены заборники воздуха для анализаторов. В передней части крыши установлен основной воздухозаборник, через который производится отбор наружного воздуха на измерительную аппаратуру. Внешний вид станции и телескопической мачты приведен на рис. 2.

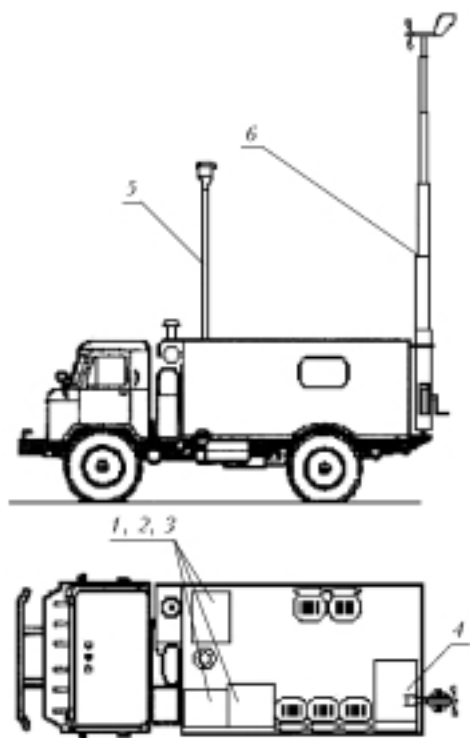


Рис. 1. Станция АКВ-2: 1, 2, 3 – стойки с измерительной аппаратурой; 4 – энергетический модуль; 5 – аэрозольно-газовый заборник; 6 – метеостанция на телескопической мачте ХЖ4.115.025 Сп

Большое внимание в конструкции мобильной станции уделено транспортировке воздушной смеси к анализаторам. Расход воздуха, необходимый для работы аэрозольного счетчика АЗ-6, определяющего счетную концентрацию частиц в диапазоне  $0,4 \leq d \leq 10,0$  мкм и диффузионной батареи  $3 \leq d \leq 200$  нм, равен 1,2 и 1 л/мин соответственно. Средняя линейная скорость воздуха в подводящих воздуховодах к аэрозольным анализаторам в таком случае равна 52 см/с. Общий расход заборника устанавливается таким образом, чтобы скорость набегающего потока в заборной трубе в соответствии с условием изокинетичности была равна скорости отбора через штуцер; при соблюдении данных условий удается произвести транспортировку воздуха из окружающей среды к аэрозольному анализатору без значительного искажения распределения аэрозоля по спектру размеров [11, 12].

В станции АКВ-2 установлена ЭВМ, фиксирующая результаты измерений от приемной части датчиков через устройство сопряжения [13]. Одновременно через стандартные последовательные порты регистрируются протоколы данных от газоанализаторов и GPS-приемника. На ЭВМ установлено программное обеспечение, которое позволяет выбрать режим проведения измерений. Станция способна проводить измерения как в стационарном положении, так и в движении. В последнем случае предусмотрена синхронная запись в базу данных вместе с измеряемыми параметрами координат положения станции, фиксируемых GPS-приемником.



Рис. 2

Считывание показаний осуществляется с частотой один раз в секунду, однако не всегда есть необходимость работать с таким большим объемом данных и при длительных стационарных измерениях применяется режим измерений, аналогичный режиму работы TOR-станции [14]: 10 мин – продувка подводящих трактов, 10 мин – измерение. Параметры, измеряемые мобильной станцией, наименование и характеристики приборов приведены в таблице.

АКВ-2 оснащена автономным источником питания на остовах аккумуляторных батарей 24 В и однофазных преобразователей напряжения ~ 220 В. Наличие автономного питания позволяет оперативно приступать к измерениям газовых и аэрозольных компонентов атмосферы, так как регистрирующая аппаратура может быть доставлена к месту проведения измерений уже в рабочем состоянии, т.е. отсутствует необходимость предварительного прогрева, калибровки и ожидания выхода станции на рабочий режим.

Таким образом, время, необходимое для приведения станции в рабочее положение, сокращается до нескольких минут. Аккумуляторные батареи емкостью 210 А/ч при полной зарядке позволяют работать

### Характеристики измерительной аппаратуры, установленной на мобильной станции

Параметр	Прибор	Пределы обнаружения	Диапазон измеряемых значений	Погрешность
Температура и влажность воздуха	HYCAL Датчик Products Honeywell Inc., Модель: ИН-3602С	0,1 °С; 1%	$T -70 - +70$ °С Отн. влажность 15–100%	$\pm 0,5$ °С; $\pm 7\%$
Скорость ветра	анеморумбометр М-63	10 град. 0,5 м/с	0...360 0,5...40	$\pm 10\%$ $\pm 10\%$
Суммарная солнечная радиация	пиранометр М-115м	10 Вт/м <sup>2</sup>	10–1368 Вт/м <sup>2</sup>	$\pm 10\%$
Счетная концентрация частиц и распределение по размерам	фотоэлектрический счетчик частиц АЗ-6 (12-канальный)	$0,4 \leq d \leq 10,0$ мкм	0–300 см <sup>-3</sup>	$\pm 20\%$
	диффузионный спектрометр аэрозоля (8-канальная сетчатая диффузионная батарея)	$3 \leq d \leq 200$ нм	0–10 <sup>5</sup> см <sup>-3</sup>	$\pm 10\%$
NO	хемиллюминесцентные	0,1 мкг/м <sup>3</sup>	0,1–1000 мкг/м <sup>3</sup>	$\pm 25\%$
NO <sub>2</sub>		1 мкг/м <sup>3</sup>	1–1000 мкг/м <sup>3</sup>	$\pm 25\%$
O <sub>3</sub>		1 мкг/м <sup>3</sup>	1–1000 мкг/м <sup>3</sup>	$\pm 15\%$
SO <sub>2</sub>		1 мкг/м <sup>3</sup>	1–2000 мкг/м <sup>3</sup>	$\pm 25\%$
CO <sub>2</sub>	оптический ИК-диапазона	100 ppm	100–2000 ppm	$\pm 20\%$
CO	электрохимический газоанализатор	0,1 мг/м <sup>3</sup>	0,1–400 мг/м <sup>3</sup>	$\pm 20\%$
Химический состав аэрозоля воздуха	фильтроаспирационная установка (до 10 м <sup>3</sup> /ч на фильтр)	до 10 ионов, 25 элементов	Определяются методикой анализа по каждому отдельному химическому компоненту	

станции не менее 3 ч, потребляя до 2 кВт/ч при напряжении сети ~220 В. Поэтому в местах продолжительного базирования мобильной станции предусмотрена возможность электропитания аппаратуры как от внешней сети, так и от компактного электрогенератора ~220 В, которым она оснащена. Это позволяет использовать станцию в режиме временного поста контроля качества воздуха как на территории города, где проблема поиска внешнего

питания не является существенной, так и в фоновых точках, удаленных от населенных пунктов и линий электропередач. При этом имеется возможность одновременного подзаряда аккумуляторных батарей.

Начиная с февраля 2004 г. мобильная станция в рамках проекта СО РАН № 130 «Экология промышленных городов Сибири» участвовала в нескольких экспедициях: Томск–Иркутск, двух Томск–Новосибирск, работала в промышленных районах



Рис. 3. Схема проведения эксперимента 23 июня 2004 г.

гг. Томска и Новосибирска, их пригородных зонах. Некоторые из полученных результатов обобщены в [15]. Ниже приводятся результаты, полученные при обследовании г. Томска 23 июня 2004 г.

Схема эксперимента приведена на рис. 3. Первоначально, с подветренной стороны города, вблизи п. Черная Речка были выполнены стационарные измерения, затем они продолжились в движении через город. Маршрут завершился с наветренной стороны города, где по просьбе нефтехимического комбината было проведено обследование его санитарной зоны.

В день эксперимента погода отличалась от средних условий для этого периода. Из рис. 4 видно, что внизу, во внутреннем слое перемешивания [16], который еще не распался, наблюдался северо-восточный перенос. Для определения вертикального распределения запускался шар-пилот, сопровождение которого было организовано по базисному методу.

На рис. 5 приведено распределение вдоль маршрута движения мобильной станции счетной концентрации аэрозоля ( $NS$ ), оксида углерода, оксида и диоксида азота (подветренная сторона (1), городская часть (2) и подветренная сторона (3)). Видно, что Томск, так же как и большинство городов Сибири, является островом загрязнений. Концентрации примесей внутри города в несколько раз превышают концентрацию с наветренной и подветренной сторон.

Содержание озона, наоборот, значительно ниже внутри города (рис. 6). Это нормальное явление,

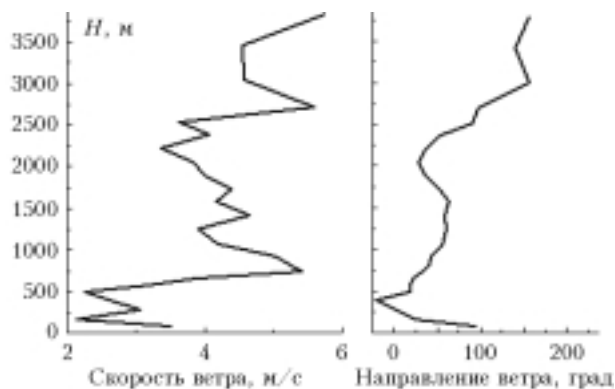


Рис. 4. Вертикальное распределение скорости (а) и направления (б) ветра на подветренной стороне г. Томска 23 июня 2004 г.

если учесть, что озон не выбрасывается в воздух предприятиями и автотранспортом, а образуется из примесей непосредственно в атмосфере [17]. При высокой концентрации аэрозоля он начинает взаимодействовать с частицами, что приводит к гибели молекул  $O_3$ . Вместе с тем из рис. 6 видно, что на подветренной стороне идет интенсивная генерация озона. Очевидно, в шлейфе города он образуется из соединений, выбрасываемых на его территории. Причем это не оксиды азота, что видно из рис. 5. По-видимому, это соединения, которые не контролировались в эксперименте.

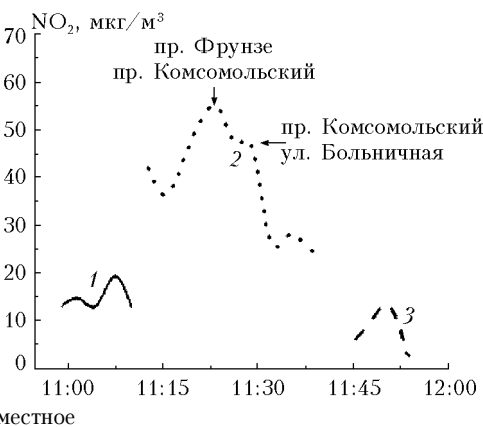
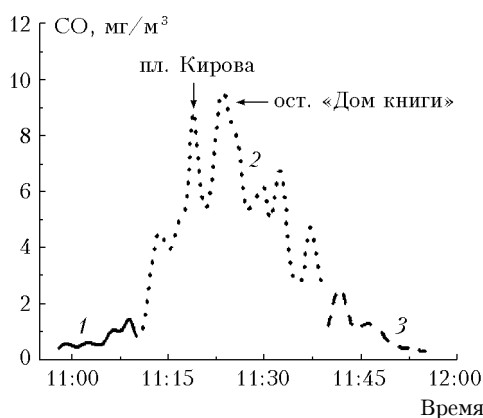
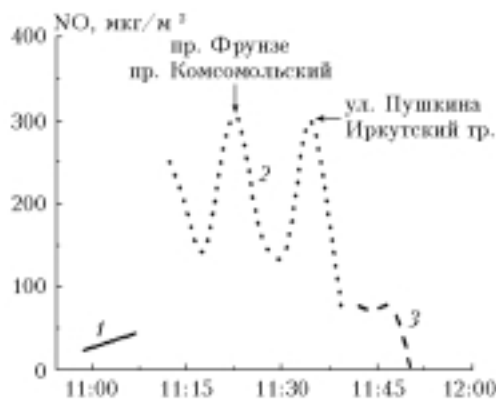
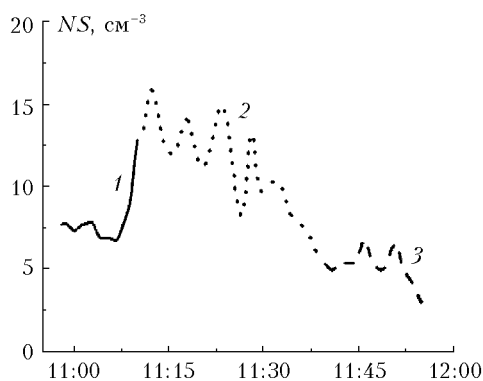


Рис. 5. Распределение по пути маршрута аэрозоля, оксида углерода и оксидов азота

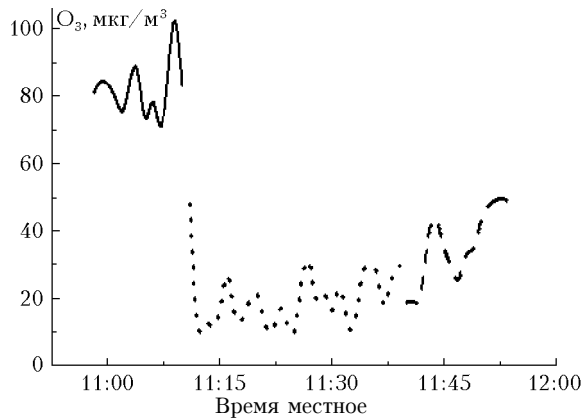


Рис. 6. Концентрация озона вдоль маршрута

Данные по температуре воздуха показывают, что она выше на 2,5 °С в центре, чем на восточной и западной перифериях города (рис. 7).

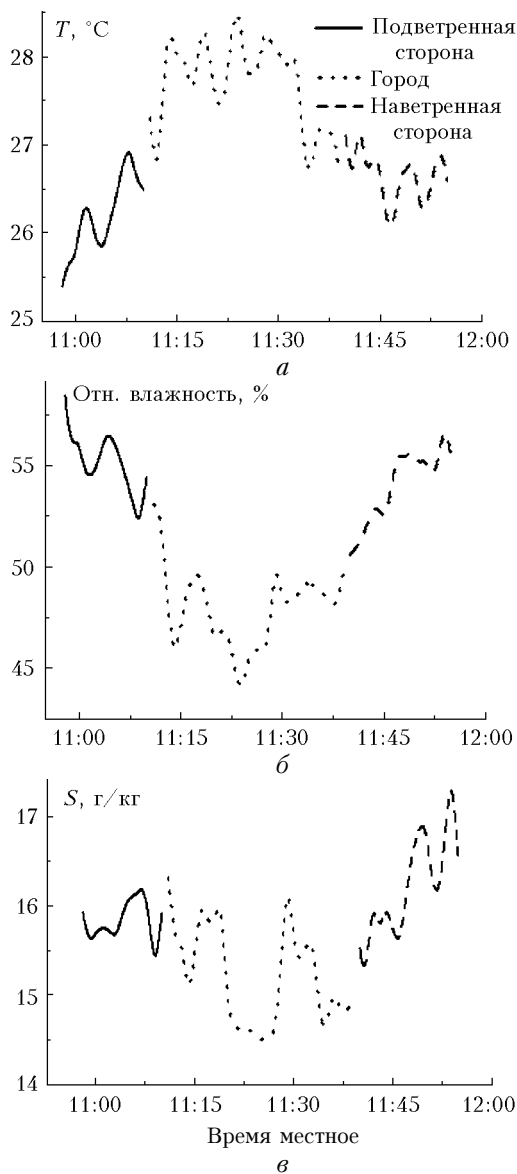


Рис. 7. Температура (а) и относительная (б) и удельная (в) влажность воздуха вдоль маршрута

Об относительной влажности надо сказать особо. Дело в том, что в литературе до сих пор не устоялось мнение: выше она в городе или ниже. Согласно [18] в городе имеются дополнительные источники водяного пара: предприятия, неплотные коммуникации, автотранспорт. Но 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 влажностью при фиксированной температуре воздуха [9], 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 Томске произошло пропорциональное уменьшение относительной влажности. Следовательно, в городе отсутствуют дополнительные источники влаги. Это же подтверждают и данные об удельной влажности (см. рис. 7).

Остановимся еще на одном моменте. До сих пор нет устоявшегося мнения о причинах образования острова тепла, который, как выше было показано, имеется и в Томске. С одной стороны, по данным многих исследователей городская территория имеет на 30% меньше альбедо и, следовательно, на столько же больше поглощает солнечной энергии [18]. Недавно мы проверили этот вывод и нашли для Новосибирска различие в альбедо для города и окрестностей в 34% [19]. С другой стороны, в [18] утверждается, тоже по данным измерений, что в городе приток солнечной энергии, за счет наличия над ним шапки примесей, меньше на 30–40%. Поэтому было интересно зафиксировать изменение притока солнечной радиации по маршруту движения. Эти данные представлены на рис. 8.

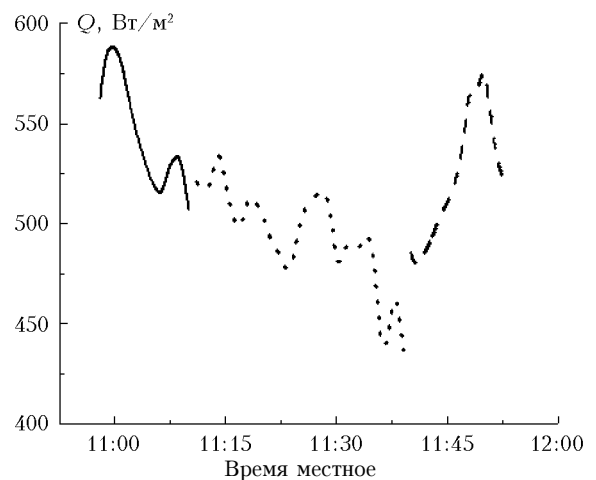


Рис. 8. Суммарная солнечная радиация вдоль маршрута

Из рис. 8 видно, что интенсивность суммарной радиации вне города составляет 550–580, а на его

территории 400–450 Вт/м<sup>2</sup>, падая местами до 425 Вт/м<sup>2</sup>. Это несколько меньше, чем в [18]. Возможно, срабатывает и обсуждаемый сейчас эффект вертикальной структуры городской застройки, которая способствует формированию нагрева приземной атмосферы через аккумуляцию тепла в городских «каньонах» и самих зданиях [20].

Таким образом, созданная мобильная станция оказалась весьма эффективным средством для исследования городской атмосферы и позволяет использовать методологию, значительно ускоряющую получение данных.

В ходе проведенных экспериментальных исследований выявлено, что в Томске, как и в большинстве промышленных городов 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.

Работа выполнена по программе СО РАН № 24 проект 24.3.3, при поддержке Междисциплинарного проекта СО РАН №130, Программы Президиума РАН № 13.4.

1. *Состояние* загрязнения атмосферы в городах на территории России в 1997 г. СПб.: Гидрометеоздат, 1999. 218 с.
2. *Состояние* загрязнения атмосферы в городах на территории России в 1998 г. СПб.: Гидрометеоздат, 1999. 131 с.
3. *Состояние* загрязнения атмосферы в городах на территории России в 1999 г. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. 240 с.
4. *Состояние* загрязнения атмосферы в городах на территории России в 2000 г. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 182 с.
5. *Пененко В.В.* Методы численного моделирования атмосферных процессов. Л.: Гидрометеоздат, 1981. 351 с.
6. *Пененко В.В., Цветова Е.А.* Моделирование процессов переноса примесей в прямых задачах климатоэкологического мониторинга и прогнозирования // Оп-

- тика атмосф. и океана. 1999. Т. 12. № 6. С. 482–487.
7. *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.
  8. *Оке Т.Р.* Климаты пограничного слоя. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 360 с.
  9. *Матвеев Л.Т.* Физика атмосферы. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. 780 с.
  10. *Техническое описание и инструкция по эксплуатации ХЖ4.115.003. ТО. Телескопическая мачта.*
  11. *Фукс Н.* Механика аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 350 с.
  12. *Varon P.A., Willeke K.* Aerosol measurement: principles, techniques and applications. USA, 2001. 1132 p.
  13. *Белан Б.Д., Ковалевский В.К., Плотников А.П. и др.* Устройство сопряжения экспериментального оборудования с IBM-совместимым персональным компьютером // Приборы и техн. эксперим. 1999. № 1. С. 156–157.
  14. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Покровский Е.В., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н.* Автоматический пост для контроля качества воздуха // Метеорол. и гидр. 1999. № 3. С. 110–118.
  15. *Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Пирогов В.А., Покровский Е.В., Симоненков Д.В., Ужегова Н.В., Фофанов А.В.* Сравнительная оценка состава воздуха промышленных городов Сибири в холодный период // Геогр. и природ. ресурсы. 2005. № 01. С. 152–157.
  16. *Белан Б.Д.* Динамика слоя перемешивания по аэрозольным данным // Оптика атмосф. и океана. 1994. Т. 7. № 8. С. 1044–1054.
  17. *Белан Б.Д.* Проблема тропосферного озона и некоторые результаты его измерений // Оптика атмосф. и океана. 1996. Т. 9. № 9. С. 1184–1213.
  18. *Ландсберг Г.Е.* Климат города. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 248 с.
  19. *Белан Б.Д., Скляднева Т.К., Ужегова Н.В.* Различия альbedo подстилающей поверхности г. Новосибирска и его окрестностей // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18. № 3. С. 238–241.
  20. *Fan H., Sailor D.J.* Modeling the impacts of anthropogenic heating on the urban climate of Philadelphia: a comparison of implementation in two PBL schemes // Atm. Environ. 2005. V. 39. N 1. P. 73–84.

*M.Yu. Arshinov, B.D. Belan, D.K. Davydov, G.A. Ivlev, A.V. Kozlov, D.A. Pestunov, E.V. Pokrovskii, D.V. Simonenkov, N.V. Uzhegova, A.V. Fofonov. AKV-2 mobile station and its application to Tomsk as an example.*

This paper describes an AKV-2 mobile station, designed and manufactured in the Institute of Atmospheric Optics SB RAS. The station is intended for measurements of the air composition under both urban and rural conditions. It differs from the applied earlier stations because allows measurements to be conducted not only at stationary sites, but also from a moving car. This significantly accelerates the process of surveying the state of the air at urban territories. The results of surveying Tomsk in June are presented.