

Автоматический пост для мониторинга малых газовых составляющих атмосферного воздуха

М. Ю. Аршинов*, Б. Д. Белан*, Д. К. Давыдов*,
В. К. Ковалевский*, А. П. Плотников*, Е. В. Покровский*,
Т. К. Складнева*, Г. Н. Толмачев*

Приводится описание автоматического поста, предназначенного для мониторинга газового и аэрозольного состава воздуха, метеовеличин и других геофизических характеристик. Пост работает в круглосуточном (ежечасно) режиме начиная с декабря 1992 г. по настоящее время. Получаемые на посту данные позволяют проводить оценку качества воздуха как для коротких отрезков времени, так и для многолетних периодов, о чем свидетельствуют приводимые в работе примеры.

Введение

Одной из актуальных современных проблем, стоящих перед человечеством, является проблема долговременных изменений природной среды и климата, которая вызывается все возрастающим антропогенным воздействием на окружающую среду. В своем глобальном аспекте эта проблема заключается в возможном потеплении климата на планете вследствие парникового эффекта со всеми вытекающими катастрофическими последствиями. В региональном аспекте антропогенное воздействие на атмосферу определяет уровень загрязнения воздуха, а следовательно, и его качество.

Для оценки долговременных изменений природной среды и климата необходимо проведение длительного мониторинга состава воздуха и метеовеличин во всех регионах планеты, что, при сопоставлении полученных данных, позволит ответить на вопрос о глобальных тенденциях в целом. Учитывая разнообразие физико-географических условий в различных районах земного шара, наиболее оптимальным путем для решения такой задачи является использование автоматических постов различной конструкции. Один из возможных вариантов подобных постов и описывается в настоящей работе.

Пост создавался в связи с участием ИОА СО РАН в международном проекте TOR (Tropospheric Ozone Research) программы EUROTRAC (Европейский эксперимент по изучению переноса и трансформации важных для исследований окружающей среды малых газовых и аэрозольных компонентов в тропосфере над Европой). И хотя Томск располагается на азиатской территории России, Институт оптики атмосферы все же был включен в число исполнителей проекта, как контрольная точка для европейских исследователей. Пост начал функционировать в декабре 1992 г. и получил название "TOR-станция". Состав и характеристики TOR-станции в первоначальном варианте приведены в [1]. В ходе эксплуатации

* Институт оптики атмосферы Сибирского отделения Российской академии наук.

и выявления "слабых" мест пост постоянно модернизировался, все время расширялся набор измеряемых параметров. К настоящему времени он существенно отличается от первоначального варианта, а накопленный опыт может быть полезен и другим исследователям. В данной статье приводится описание модернизированного поста и некоторые результаты его работы.

1. Состав и технические характеристики

Структурная схема поста представлена на рис. 1, а технические характеристики отдельных измерителей в таблице.

На рис. 1 видно, что в составе поста можно выделить несколько комплексов: блок газоанализаторов, метеоблок, измеритель гамма-фона, аэрозольный блок, блок для измерения параметров солнечной радиации и систему для измерения температуры почвы на разных уровнях. Все приборы и датчики через специально разработанный аналого-цифровой преобразователь или другие устройства согласования подключены к ЭВМ. Поскольку все измерители, входящие в состав поста, являются контактными, то в его состав введена система управления, которая предназ-

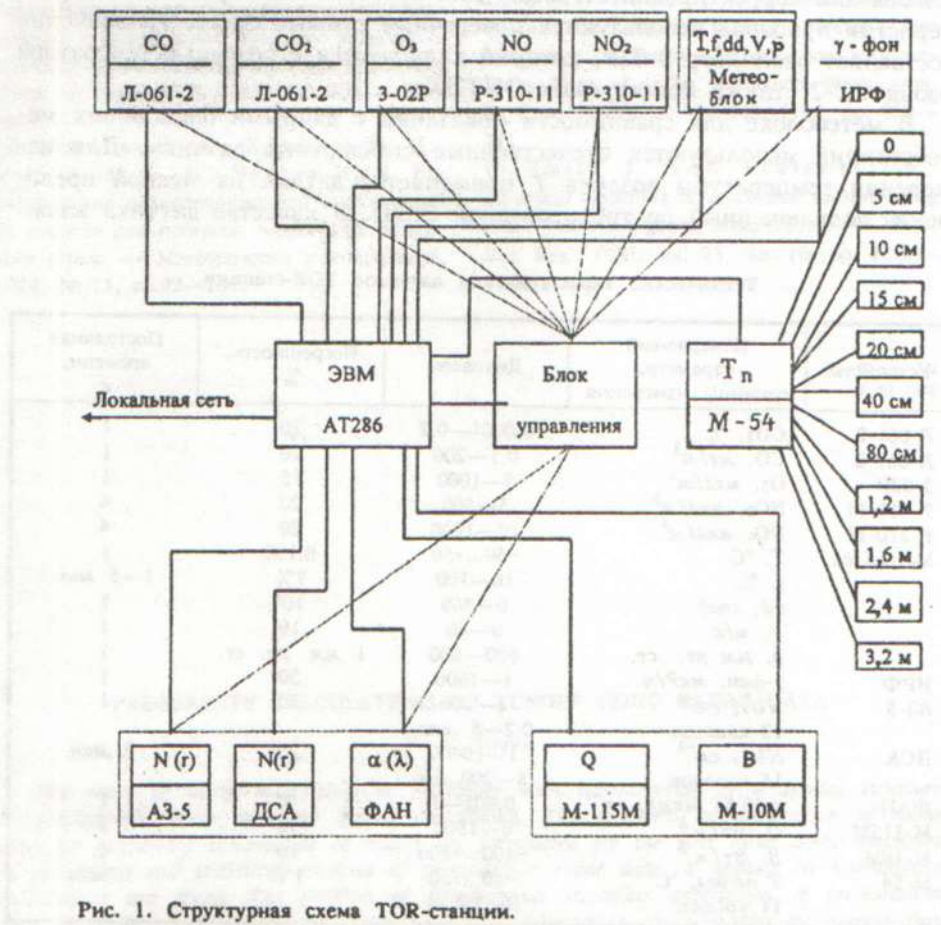


Рис. 1. Структурная схема TOR-станции.

начена для включения побудителей расхода газоанализаторов и измерителей аэрозоля, аспирационных устройств метеосистемы, переключения измерительного и калибровочного режимов приборов. Включение и выключение системы управления, как и поста в целом, происходит автоматически по командам ЭВМ.

Блок газоанализаторов состоит из трех приборов, разработанных и изготовленных предприятием ОПТЭК (г. Санкт-Петербург). Ранее для измерения CO и CO_2 использовались газоанализаторы ГИАМ-15 производства НПО "Аналитприбор" (г. Смоленск). Однако от них пришлось отказаться из-за невысокой надежности в эксплуатации. Анализаторы Р-310-11 и 3-02Р работают на хемилюминесцентном принципе, Л-061-2 для измерения CO_2 — на принципе дифференциального поглощения в ИК-области спектра, для измерения CO используется электрохимический сенсор. Технические характеристики приборов приведены в таблице.

Длительная эксплуатация газоанализаторов показала, что, несмотря на достаточно хорошие микроклиматические условия в месте их размещения, все же иногда наблюдается заметный дрейф нуля. Поэтому в схему оцифровки сигналов введено дополнительное устройство, позволяющее перед каждым измерением снимать показания нуля прибора и конца шкалы для корректировки отсчетов. Для проверки калибровочных характеристик приборов используются поверочные газовые смеси. Исключение составляет озонметр 3-02Р, который калибруется с помощью генератора озона ГС-2, также конструкции ОПТЭК.

В метеоблоке для сравнимости показаний с данными ближайших метеостанций используются отечественные стандартные датчики. Для измерения температуры воздуха T применяется датчик из медной проволоки, подключенный по трехпроводной схеме. В качестве датчика влаж-

Технические характеристики датчиков ТОР-станции

Устройство	Измеряемый параметр, единицы измерения	Диапазон	Погрешность, %	Постоянная времени, с
Л-061-2	CO_2 , %	0,0001—0,2	20	1
Л-061-2	CO , мг/м^3	0,1—200	20	1
3-02Р	O_3 , мкг/м^3	5—1000	15	1
Р-310-11	NO_2 , мкг/м^3	5—500	20	4
Р-310-11	NO , мкг/м^3	10—1000	20	4
Метеоблок	T , °С	-50...+50	0,1°С	1
	f , %	10—100	7%	1—5 мин
	dd , град	0—360	10°	1
	V , м/с	0—40	10	1
	p , мм рт. ст.	600—800	1 мм рт. ст.	1
ИРФ	γ -фон, мкР/ч	1—1000	30	1
АЗ-5	$N(r)$, см^{-3}	1—300	20	1
ДСА	12 каналов	0,2—5 мкм		
	$N(r)$, см^{-3}	1—10000	20	7 мин
ФАН	15 каналов	8—200 нм		
	α (0,55 мкм), км^{-1}	0,001—1	7	1
М-115М	Q , Вт/м^2	0—1500	10	1
М-10М	B , Вт/м^2	-800...+800	10	1
М-54	T почвы, °С	-50...+50	1°С	1 мин
	11 уровней	0—3,2 м		

ности f используется датчик от радиозонда типа РКЗ. Измерение влажности в режиме мониторинга оказалось весьма сложным делом, так как апробация почти всех типов отечественных приборов и ряда зарубежных датчиков сенсорного типа не дала требуемой надежности. Поэтому пришлось остановиться на вышеупомянутом датчике, естественно с потерей точности измерений. Датчики температуры и влажности помещены в специально разработанную защитную конструкцию с тройным контуром аспирации.

В качестве датчика давления p используется прибор, изготовленный из мембранных элементов и, как видно из данных таблицы, с невысокими точностными характеристиками. Цель его включения — оценка тенденции изменения давления. Поэтому высоких требований, кроме надежности, к нему не предъявлялось.

Для измерения скорости (V) и направления (dd) ветра используется приемная часть от анемометра М-63, которая через специально изготовленную плату подключается к цифровым входам АЦП.

Индикатор радиационного фона ИРФ был введен в состав поста после аварии на Сибирском химическом комбинате. Работа его основана на классическом принципе измерений. За последние несколько лет ни разу повышение гамма-фона пост не зафиксировал.

Аэрозольный блок состоит из трех измерителей. Фотоэлектрический счетчик АЗ-5 предназначен для измерения дисперсного состава частиц в диапазоне размеров $0,2 \text{ мкм} < r \leq 10 \text{ мкм}$. Поскольку в базовом варианте работа стандартного счетчика вызывает много нареканий, он модернизирован с учетом рекомендаций, содержащихся в [2]. Кроме того, измерение дисперсного состава в счетчике предполагает последовательный характер операций. Для расширения возможностей прибора был изготовлен в стандарте IBM параллельный амплитудный анализатор импульсов, который позволяет вести одновременную регистрацию частиц по 12 каналам. Он устанавливается непосредственно в ЭВМ, которая и управляет его работой.

Для измерения микродисперсной фракции аэрозоля в диапазоне размеров от 3 до 200 нм в пост включен диффузионный спектрометр аэрозоля (ДСА), разработанный и изготовленный в ИХКГ СО РАН. Он прошел многочисленные интеркалибровочные испытания и по своим характеристикам не уступает лучшим образцам приборов такой известной фирмы как TSI.

И наконец, в состав этого блока измерителей включен промышленно выпускаемый фотоэлектрический нефелометр ФАН, предназначенный для определения коэффициента аэрозольного рассеяния.

Для измерения суммарной солнечной радиации Q и радиационного баланса B на TOR-станции применяются стандартные пиранометр М-115М и балансомер М-10М. Для их согласования с ЭВМ были изготовлены специальные промежуточные преобразователи.

Для расчета теплового баланса на границе атмосфера — подстилающая поверхность в состав TOR-станции включен блок для измерения температуры почвы T_n на разных глубинах (от 0 до 3,2 м). В качестве основы для него использованы датчики от промышленно выпускаемой установки М-54. Согласование с ЭВМ осуществляется с помощью промежуточного преобразователя.

При интерпретации результатов измерений в ряде случаев возникает необходимость учета осадков. Поэтому в последние месяцы был разработан и включен в пробную эксплуатацию индикатор осадков (на рис. 1 отсутствует). Он основан на термоанемометрическом принципе и пока работает в режиме "да — нет". Поскольку статистика наблюдений по нему небольшая, то комментировать его работу пока преждевременно.

2. Режим работы поста

Измерения перечисленных в таблице величин ведутся круглосуточно и круглогодично начиная для некоторых с декабря 1992 г. по настоящее время. Отсчеты внутри суток производятся ежечасно в следующем цикле.

За 10 мин до срока измерений (обычно это целые часы: 1, 2, 3, ..., 24 ч) блок управления по команде ЭВМ включает побудители расхода и аспирационные устройства приборов для продувки подводящих коммуникаций. Ранее применялся 5-минутный режим продувки. Но он оказался недостаточным, так как датчики находятся постоянно на открытом воздухе и подвергаются нагреву солнечным излучением. Поэтому они не успевали принимать температуру окружающего воздуха.

Затем производится снятие дрейфа нулей, концов шкал приборов, необходимых калибровочных характеристик.

Процесс измерений, наступающий после проведения подготовительных операций, осуществляется в два этапа. Первый этап продолжается 10 мин, в течение которых производится отсчет каждого параметра с частотой 1 Гц. Исключение составляет лишь ДСА, работающий на втором этапе измерений. Итоговый результат, фиксируемый ЭВМ, получается осреднением 600 разовых значений и расчетом среднеквадратического отклонения по ним для каждой из измеряемых величин. Он выводится на дисплей и записывается на жесткий магнитный диск. Анализ среднеквадратического отклонения для каждого параметра сразу же позволяет определить устойчивость и надежность работы всех включенных приборов.

Через 10 мин отключаются все измерительные приборы, побудители расхода и т. п. Это позволяет экономить ресурс всех механических узлов и потребление электроэнергии. На этом первый этап измерений завершается.

На втором этапе, через 10 мин после срока измерений, включается ДСА. Прибор позволяет измерять спектр частиц микродисперсной фракции за 7 мин. Чтобы получать не разовые отсчеты, производятся 4 измерения. В итоге второй этап заканчивается через 38 мин после срока измерений.

Технологическая пауза на посту составляет 12 мин, что достаточно для необходимых корректировок и переключений в его работе.

Полученная информация по внутренней локальной сети заносится в специально созданную базу данных, включающую, кроме результатов измерений, характеристику синоптической ситуации в период наблюдений, которая составляется по ранее разработанной методике, описание метеорологических явлений, если таковые появляются, и текстовую информацию об особенностях данного или нескольких измерений (отключение или выход из строя отдельного прибора, наличие локальных источников примесей, осадков и т. п.).

3. Географическое положение поста и размещение датчиков на нем

Географическое положение поста достаточно подробно описано в [1]. Поэтому здесь остановимся только на его краткой характеристике, учитывая, что оно имеет определяющее значение для репрезентативности получаемых на посту данных.

Автоматический пост располагается на северо-восточной окраине Томского академгородка в помещении Сибирской лидарной станции, отдельно стоящем четырехэтажном здании. Географические координаты станции $56^{\circ}29'$ с. ш. и $85^{\circ}04'$ в. д. Вокруг нее имеются небольшие лесные массивы лиственных и хвойных пород, почва покрыта травой. В непосредственной близости от станции отсутствуют промышленные объекты и автомагистрали, что исключает наличие местных источников газов и аэрозоля.

При направлении переноса воздушных масс с западной составляющей пост оказывается под влиянием воздушной массы, прошедшей через территорию г. Томск и обогащенной выбросами промышленности и автотранспорта. В остальных случаях воздух поступает из фоновых районов, в которых достаточно высока доля лесных массивов и отсутствуют какие-либо промышленные предприятия. Таким образом, пост может фиксировать как фоновые концентрации газов и аэрозоля, так и их концентрации с учетом антропогенной составляющей. Поэтому при интерпретации данных постоянно приходится иметь в виду это обстоятельство.

Датчики станции расположены следующим образом. Аспирационный блок с датчиками температуры и влажности установлен на штанге, укрепленной на специальной эстакаде, вынесенной на 12 м от здания на высоте 5 м от поверхности земли. Датчик скорости и направления ветра прикреплен на 10-метровой метеомачте, расположенной на крыше здания, так что он оказывается значительно выше окружающих станцию деревьев. Пиранометр и балансомер установлены на эстакаде, на высоте 5 м. Датчики температуры почвы закопаны в землю, на удалении 20 м от здания. Площадка над датчиками покрыта травой летом и снегом в зимнее время. Остальные приборы и датчики размещены внутри помещения на втором этаже.

Заборники воздуха для газоанализаторов и аэрозольных приборов выполнены из тefлюновой трубки и выведены наружу на расстояние 5—10 м, в зависимости от измеряемого параметра. Забор воздуха для них осуществляется на высоте 5 м.

Такое расположение датчиков, конечно же, не исключает влияния здания на показания приборов во всех возможных случаях. Однако специально поставленные эксперименты по контролю озона, как одного из наиболее активных газов, показали, что воздействие здания на его концентрацию в большинстве случаев становится малозаметным на расстоянии 5 м и более.

4. Некоторые результаты мониторинга

В качестве иллюстрации возможностей TOR-станции приведем некоторые результаты, полученные в ходе ее эксплуатации.

На рис. 2 показана временная динамика некоторых компонентов воздуха в период осенних лесных пожаров, которые наблюдались на значительных площадях юга Западной Сибири в 1997 г. Видно, что с 27

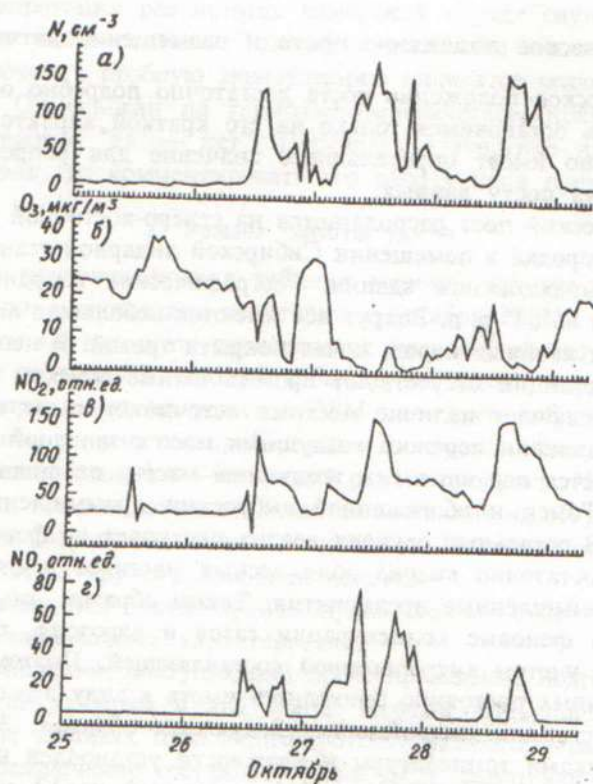


Рис. 2. Изменение счетных концентраций аэрозоля N (а), озона O_3 (б), диоксида (NO_2 , в) и оксида (NO , г) азота во время лесных пожаров в районе г. Томск 25—29 октября 1997 г.

по 29 октября 1997 г. в районе Томска прошло три волны дымовых шлейфов, которые хорошо прослеживались по счетной концентрации аэрозоля (N). В период дымовых смогов счетная концентрация аэрозоля возрастала в 15—20 раз. При этом концентрация озона O_3 в дымовых шлейфах изменялась в противофазе к аэрозолю, падая в отдельные периоды до нуля. Из сопоставления хода этих двух кривых на первый взгляд можно было бы сделать вывод о том, что в дымовых смогах происходит сток озона на аэрозольных частицах.

Если же обратиться к двум нижним кривым на рис. 2в, г, где показана временная динамика оксида и диоксида азота, то можно сделать вывод, что предыдущее заключение не столь очевидно. Концентрации NO и NO_2 приведены в относительных единицах, так как после ремонта прибор не успели откалибровать до пожаров. Так, синхронно с увеличением счетной концентрации в дымовых шлейфах наблюдается и рост концентрации NO . Оксид азота, как известно, является основным продуктом, поступающим в атмосферу при сгорании топлива, а затем уже он переводится в диоксид азота в воздухе по реакции



Следовательно, наряду со стоком озона на частицах аэрозоля, в атмосфере может происходить и конкурирующий процесс — окисление оксида азота в диоксид. Отчасти этот вывод подтверждается противофазой кривых O_3 , NO_2 и NO в отдельные моменты рассматриваемого периода.

На наш взгляд, рис. 2 еще раз демонстрирует необходимость комплексного подхода при оценке качества воздуха, особенно при смогах.

Накопленный к настоящему времени материал позволяет анализировать и более долговременные изменения состава воздуха. На рис. 3 представлены данные о динамике концентраций озона и разных фракций аэрозоля за последние несколько лет. Ранее, до введения TOR-станции в эксплуатацию, озон регистрировался тем же прибором, но запись велась с помощью самописца.

На рис. 3 видно, что в последние 5 лет погодные условия в районе Томска были весьма изменчивыми, о чем можно судить по температуре воздуха. Наиболее теплым был 1995 г., наиболее холодным — 1996 г. В то же время в многолетнем ходе концентрации приземного озона четко выделяется шестилетняя волна (1990—1995 гг.) и намечается следующая,

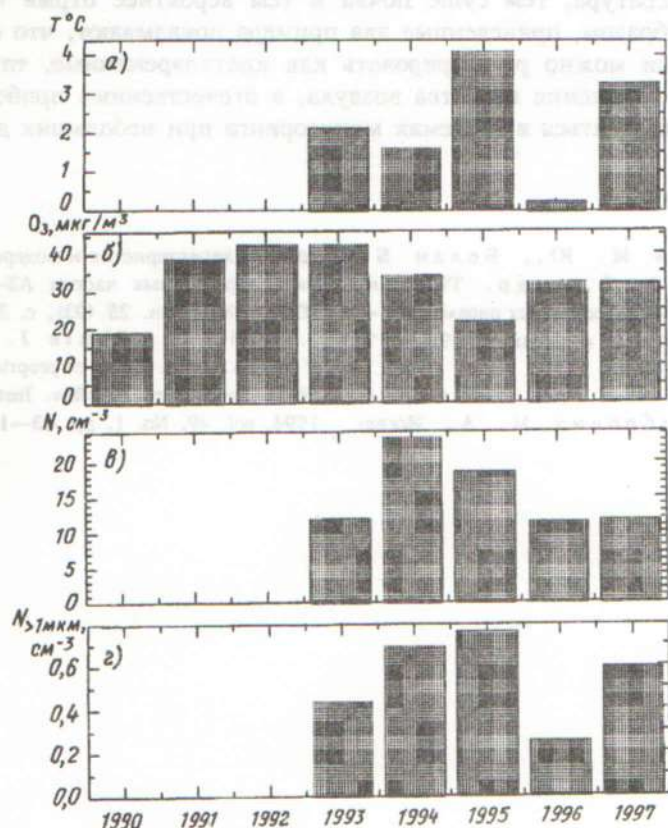


Рис. 3. Среднегодовые значения температуры воздуха (а), концентрации озона (б), счетной концентрации аэрозоля ($d \geq 0,4$ мкм, в) и счетной концентрации грубодисперсной фракции аэрозоля ($d > 1$ мкм, г) в районе г. Томск.

начиная с 1996 г. Эти же данные показывают, что, хотя среднегодовые концентрации озона в основном и превышают ПДК по среднесуточному показателю, но долговременного тренда увеличения концентрации тропосферного озона, который зафиксирован во многих местах (см., например, [3]), не имеется.

Можно отметить, что для концентрации аэрозоля характерны более короткие вариации, порядка четырех лет. Причем ход субмикронной и грубодисперсной фракций не совсем совпадает, что, по-видимому, отражает особенности их попадания в атмосферу. Общеизвестно, что субмикронная и долгоживущая фракция может переноситься на большие расстояния, в то время как грубодисперсная является скорее отражением региональных источников. Если сопоставить ход температуры и грубодисперсной фракции, то за исключением 1994 г. они подобны. 1994 г. был несколько особенным. В районе станции велась небольшая стройка, ее влияние, возможно, не полностью отфильтровано при обработке и сказалось на среднегодовой величине. При совпадении хода температуры воздуха и грубодисперсной фракций и в дальнейшем можно будет с уверенностью утверждать о региональности процессов ее генерации: чем выше температура, тем суше почва и тем вероятнее отрыв частиц.

Таким образом, приведенные два примера показывают, что с помощью TOR-станции можно регистрировать как кратковременные, так и долговременные изменения качества воздуха, а отечественные приборы вполне могут использоваться в системах мониторинга при небольших доработках.

Литература

1. Аршинов М. Ю., Белан Б. Д., Зуев В. В. и др. TOR-станция мониторинга атмосферных параметров. — Оптика атмосферы и океана, 1994, т. 7, № 8, с. 1085—1092.
2. Беляев С. П., Гончаров Н. В., Дубровин М. А. Исследование характеристик и модернизация счетчика аэрозольных частиц АЗ-5. — Труды ИЭМ, 1980, вып. 25 (93), с. 31—37.
3. Megie G., Bonte J., Carlier P., et al. Ozone et propriétés oxydantes de la troposphere. — Rev. Inst. Fr. Petrole, 1994, vol. 49, No. 1, pp. 83—104.

Поступила
19 V 1998