

А.В. Малышкин¹, В.А. Поддубный¹, Ю.И. Маркелов¹, С.А. Береснев²,
С.Ю. Горда², С.М. Сакерин³, А.В. Смирнов⁴

Средний Урал в системе AEROSIBNET: предварительный анализ влияния региональных источников аэрозольного загрязнения атмосферы

¹Институт промышленной экологии УрО РАН,

²Уральский государственный университет, г. Екатеринбург, Россия

³Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия

⁴Годдардский центр космических полетов НАСА, г. Гринбелт, США

Поступила в редакцию 23.01.2007 г.

Вводится понятие «зоны влияния» — области атмосферы, которая может обуславливать показания солнечного фотометра в заданный промежуток времени вследствие прохождения воздушной массы из данной области над пунктом наблюдения. На основе анализа совокупности обратных траекторий движения воздушных масс оценены количественные характеристики зон влияния для различных сезонов года, исследуемых интервалов времени и изобарических поверхностей переноса. Выполнен предварительный анализ событий поступления воздуха в точку наблюдения в Коуровской астрономической обсерватории от крупных региональных источников загрязнения. Предпринята попытка установления корреляционных связей между данными событиями и величиной аэрозольной оптической толщи для разных длин волн, а также параметрами функции распределения аэрозольных частиц по размерам.

В июне 2004 г. при поддержке Годдардского центра космических полетов (GSFC/NASA, США) и Института оптики атмосферы СО РАН (Томск) в рамках программы AERONET на территории Коуровской астрономической обсерватории Уральского государственного университета был установлен солнечный фотометр CIMEL-318 и начаты регулярные измерения аэрозольных оптических характеристик [1]. Обсерватория находится в лесном массиве вблизи д. Слобода примерно в 65 км северо-западнее г. Екатеринбурга. Хотя район мониторинга в целом можно характеризовать как фоновый, нельзя не учитывать близости крупных промышленных центров (в первую очередь Екатеринбурга, Нижнего Тагила, Первоуральска и Ревды). В данной статье представлен первоначальный анализ возможного влияния региональных источников загрязнения атмосферы на исследуемые характеристики аэрозоля (аэрозольная оптическая толщина и функция распределения частиц по размерам).

Обратные траектории движения воздушных масс и зоны влияния

Помимо основных характеристик мониторинга, доступных для анализа на каждой станции сети AERONET (аэрозольная оптическая толщина (АОТ) для разных длин волн (от 340 до 1020 нм), содержание водяного пара, функция распределения аэрозольных частиц по размерам и т.д. [2–4]), на сайте

GSFC (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>) восстанавливаются так называемые обратные траектории, показывающие предшествующий путь движения воздушных масс в пункт наблюдения. Метод обратных траекторий эффективно применялся для анализа процессов регионального переноса атмосферных аэрозолей [5, 6].

Обратные траектории рассчитываются для уровней давления 950, 850, 700, 500, 400, 300, 250 и 200 гПа, которые соответствуют интервалу высот приблизительно от 500 м до 12 км. За сутки восстанавливаются две обратные траектории, отвечающие приходу воздушных масс в 0 и в 12 ч по GMT.

Соответствующий набор обратных траекторий позволяет построить так называемую *зону влияния* — двумерную область, целиком охватывающую совокупность обратных траекторий за определенный период времени (сутки, сезон, год). По мнению авторов, следует различать зоны влияния для различных интервалов времени движения воздушных масс до пункта наблюдения и различных уровней давления (изобарических поверхностей), им соответствующих. Например, зона влияния для станции в Коуровке за осень 2005 г. (рассматриваемый интервал времени — 1 сут) для изобарической поверхности 950 гПа представляет собой область атмосферы вблизи соответствующей высоты, из которой в течение суток может поступить воздушная масса, содержащая аэрозоль, в пункт наблюдения (рис. 1). Совокупность зон влияния для множества изобарических поверхностей за определенный временной интервал образуют *конус влияния*.

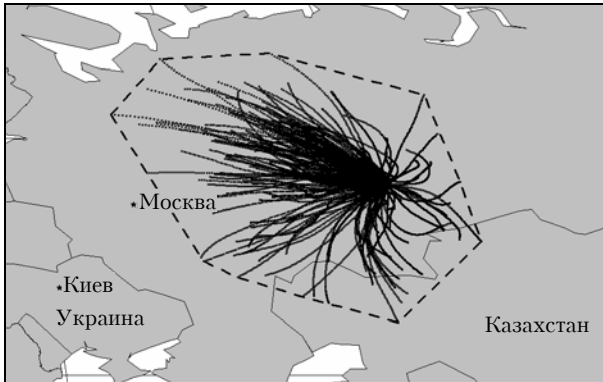


Рис. 1. Зона влияния для пункта наблюдения Коуровка, интервал времени 1 сут, осень 2005 г., изобарическая поверхность 950 гПа. Обратные траектории изображены линиями и сходятся в пункте наблюдения

Вследствие неравномерного распределения плотности обратных траекторий геометрический центр зоны влияния в общем случае смещен относительно пункта наблюдения (см. рис. 1). Зоны влияния определяются следующими параметрами: характерный размер, смещение центра зоны влияния от пункта наблюдения и направление данного смещения. Величина смещения дает информацию о степени асимметрии в распределении обратных траекторий, тогда как направление смещения показывает выделенное направление переноса воздушных масс. Параметры зон влияния для Екатеринбурга (Коуровская астрономическая обсерватория) представлены в таблице.

Параметры зон влияния в районе Екатеринбурга для различных интервалов времени, изобарических поверхностей и сезонов года

Интервал времени, сут	Сезон	Изобарическая поверхность, гПа	Характерный размер, км	Величина смещения, км	Направление смещения
1	Осень 2005	950	1820	220	ЗСЗ
		500	3670	530	ЗСЗ
		200	4490	709	ЗСЗ
	Зима 2005/2006	950	2190	90	ЮЗ
	Весна 2006	950	1840	110	ЗЮЗ
2	Осень 2005	950	1670	113	СЗ
3	Осень 2005	950	3380	456	ЗСЗ
3	Осень 2005	950	4440	669	ЗСЗ

Форма и характерный размер зон влияния зависят от географического местоположения пункта наблюдения и динамики воздушных масс в данной местности. На рис. 2 приведены зоны влияния для трех пунктов наблюдения в сети AERONET: Екатеринбург, Томск и Якутск.

Из рис. 2 видно качественное различие зон влияния — они заметно отличаются как по форме, так и по характерным размерам (которые варьируются от 1080 км для Якутска до 1820 км для Екатеринбурга). Различия форм и характерных размеров

зон влияния обусловлены, в первую очередь, отличием метеополей ветра на данных территориях: чем больше скорость переноса в каком-либо конкретном направлении, тем больше зона влияния будет вытянута в данном направлении. Например, малые скорости переноса воздушных масс в северном и южном направлениях на территории Якутии приводят к тому, что соответствующая зона влияния отличается относительно малым характерным размером в направлении с юга на север. Форма зон влияния для Екатеринбурга, Томска и Якутска свидетельствует о преимущественно западном переносе воздушных масс для данных пунктов наблюдения.

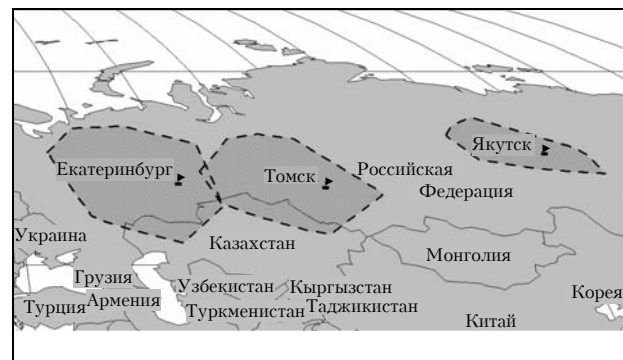


Рис. 2. Зоны влияния для пунктов наблюдения: Екатеринбург, Томск, Якутск, осень 2005 г., изобарическая поверхность 950 гПа, интервал времени 1 сут. Пункты отмечены флажками

Параметры зон влияния зависят не только от географического местоположения пункта наблюдения, но и от выбранного сезона, а также от высоты переноса (уровня изобарической поверхности). Чем выше рассматриваемая изобарическая поверхность, тем больше характерный размер соответствующей зоны влияния. Например, зоны влияния для изобарических поверхностей 950 и 500 гПа (около 0,5 и 5 км соответственно) сильно отличаются друг от друга в сравнении с различием между зонами влияния для поверхностей 500 и 200 гПа (высоты 5 и 12 км). Как известно, пограничный слой, трение в котором играет принципиально важную роль, имеет среднюю толщину 500–1000 м [7]. Таким образом, изобарическая поверхность 950 гПа находится в пределах пограничного слоя (соответствующая зона влияния имеет характерный размер 1820 км), в то время как характерные размеры зон влияния для изобарических поверхностей вне пограничного слоя 500 и 200 гПа составляют 3670 и 4490 км соответственно. Максимальный дальний перенос воздушных масс наблюдается для изобарической поверхности 200 гПа, которая в умеренных широтах располагается вблизи тропопаузы.

Очевидно, что параметры зоны влияния зависят от интервала времени, в течение которого рассматривается предшествующее движение воздушных масс. Например, для пункта наблюдения в Коуровке (изобарическая поверхность 950 гПа) для интервалов времени 1, 2 и 3 сут характерные размеры зоны влияния составляют 1820, 3380 и 4440 км соответственно.

Влияние источников загрязнения на результаты фотометрических измерений

Для оценки влияния крупных близкорасположенных промышленных центров на измеряемые аэрозольные оптические характеристики в пункте наблюдения Коуровка был проведен анализ обратных траекторий для изобарической поверхности 950 гПа за период с марта по август 2006 г. В качестве потенциальных источников загрязнения рассматривались гг. Екатеринбург, Нижний Тагил, Первоуральск и Ревда. В анализе выявлялись те траектории, по которым воздушные массы проходили над этими городами. Далее были проанализированы данные по АОТ за указанный период для всего диапазона длин волн, уровень обработки 1,5. На рис. 3 приведены временные зависимости АОТ для двух предельных для фотометра длин волн 340 и 1020 нм для 22 июня 2006 г. Момент прихода воздушных масс из какого-либо вышеуказанного города отмечен на рис. 3 треугольником на оси абсцисс.

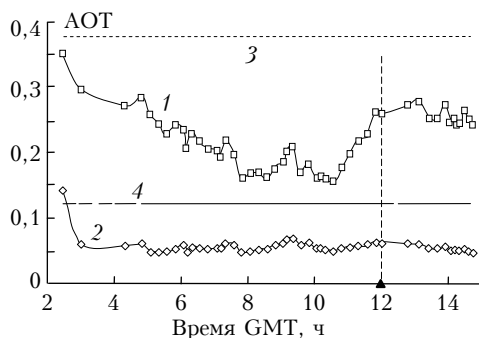


Рис. 3. Временные зависимости АОТ для длин волн 340 (кривая 1) и 1020 нм (2) в день прихода частицы воздуха из источника загрязнения. Средняя АОТ 340 нм (3), 1020 нм (4); ▲ – Нижний Тагил

Зависимости АОТ от времени за указанный период (здесь не приводятся) свидетельствуют о достаточно сильной временной изменчивости данной характеристики. Некоторые пики носят очень резкий и в то же время кратковременный характер. Средняя АОТ за период с марта по август 2006 г. на длине волны 500 нм для Коуровки равна примерно 0,25, тогда как в Москве по результатам исследований с 1955 по 2003 г. она составляет 0,20 [8]. В Томске среднее значение АОТ за период весна – лето 2003 и 2004 гг. равна 0,22 [1]. Что касается событий прихода воздушных масс из рассматриваемых городов, то за весь период с марта по август 2006 г. из 368 обратных траекторий только по 32 из них воздушные массы прошли над данными городами. В силу существенной временной изменчивости АОТ для анализа из всего множества были выбраны только те обратные траектории, время прихода воздушных масс по которым отличается от моментов предыдущего и последующего измерения АОТ не более чем на 0,1 сут (2 ч 24 мин). Оказалось, что этому условию удовлетворяет всего одна траектория, соответ-

ствующая приходу воздушных масс из Нижнего Тагила 22 июня в 12 ч GMT.

Из рис. 3 видно, что за 1,5 ч до поступления воздушных масс в пункт наблюдения начинается рост АОТ для длины волны 340 нм. В момент прихода воздушных масс из Нижнего Тагила этот рост прекращается. К сожалению, для последующих временных интервалов данные наблюдений АОТ отсутствуют. Для длины волны 1020 нм отсутствует отчетливо выраженное изменение величины АОТ. Таким образом, анализ данной метеорологической ситуации позволяет предположить, что на величину АОТ на длине волны 340 нм в пункте наблюдения Коуровка оказали влияние выбросы промышленного тонкодисперсного аэрозоля из Нижнего Тагила.

Несомненный интерес для проводимого анализа представляет поведение функции распределения аэрозольных частиц по размерам в моменты прихода воздушных масс из потенциальных городов-загрязнителей. Для оценки влияния источника загрязнения на дисперсный состав атмосферного аэрозоля была рассмотрена обратная траектория на 12 ч GMT 22 июня 2006 г. (рис. 4).

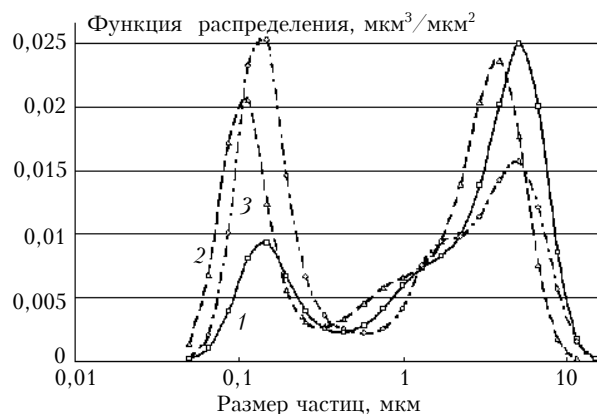


Рис. 4. Трансформация функции распределения аэрозольных частиц по размерам: кривая 1 – 10:05; 2 – 12:02; 3 – 14:05

Из рис. 3 и 4 видно, что в промежуток времени от 10 до 12 ч GMT 22 июня 2006 г. функция распределения характеризуется быстрым увеличением доли тонкодисперсной фракции и небольшим уменьшением доли грубодисперсной фракции, причем эти изменения сопровождаются увеличением АОТ. В период с 12 ч по 12 ч 47 мин происходит дальнейшее уменьшение грубодисперсной фракции, тогда как АОТ для длин волн 1020 и 340 нм меняется незначительно.

Как было отмечено выше, обратные траектории в GSFC восстанавливаются лишь для двух моментов времени в сутки. Результаты анализа временного периода в 6 мес (март – август 2006 г.) оказались недостаточными для получения достоверной статистической информации о влиянии источников загрязнения на показание солнечного фотометра, однако продемонстрировали, на взгляд авторов, перспективность данного методического подхода для дальнейшего исследования.

Авторы выражают благодарность Годдардскому центру космических полетов (GSFC/NASA, США) и лидеру проекта AERONET Бренту Холбену (Brent Holben) за предоставленную возможность доступа к базе данных по обратным траекториям.

Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта УРО РАН, СО РАН и ДВО РАН № 52 «Исследование характеристик изменчивости и радиационного форсинга аэрозоля в атмосфере азиатской части России по данным сетевых наблюдений AEROSIBNET».

1. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Панченко М.В., Польшкин В.В., Холбен Б.Н., Смирнов А.В., Береснев С.А., Горда С.Ю., Корниченко Г.И., Николашкин С.В., Поддубный В.А., Таццилин М.А. Результаты мониторинга атмосферного аэрозоля в азиатской части России по программе AEROSIBNET в 2004 г. // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18. № 11. С. 968–975.
2. Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y., Nakajima T., Lavenu F., Jankowiak I., Smirnov A. AERONET—A federated instrument network and data archive for aerosol characterization//Remote. Sens. Environ. 1998. V. 66. P. 1–16.
3. Smirnov A., Holben B.N., Eck T.F., Dubovik O., Slutsker I. Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET data base // Remote. Sens. Environ. 2000. V. 73. P. 73337–73349.
4. Dubovik O., King M.D. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // J. Geophys. Res. 2000. V. 105. P. 20 673–20 696.
5. Куценогий К.П., Смирнова А.И. Метод обратных траекторий для идентификации источников атмосферных аэрозолей регионального и глобального масштабов // Оптика атмосф. и океана. 2001. Т. 14. № 6–7. С. 510–514.
6. Анкилов А.Н., Бакланов А.М., Белан Б.Д., Бородулин А.И., Буряк Г.А., Власенко А.Л., Марченко Ю.В., Олькин С.Е., Панченко М.В., Пененко В.В., Пьянков О.В., Резникова И.К., Сафатов А.С., Сергеев А.Н., Цветова Е.А. Годовое изменение концентрации белка в биогенной компоненте атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2001. Т. 14. № 6–7. С. 520–525.
7. Хромов С.П., Петросянец М.А. Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ, 2001. 527 с.
8. Горбаренко Е.В., Ерохина А.Е., Лукин А.Б. Многолетние изменения аэрозольной оптической толщины атмосферы в России // Метеорол. и гидрол. 2006. № 7. С. 41–48.

A.V. Malyshkin, V.A. Poddubny, Yu.I. Markelov, S.A. Beresnev, S.Yu. Gorda, S.M. Sakerin, A.V. Smirnov. The Middle Ural in the AEROSIBNET: the preliminary analysis of the influence of regional sources of atmosphere aerosol pollution.

The concept of «zone of influence» — areas of atmosphere which can influence indications of sun photometer in the set time interval owing to passage of air masses from the given area above point of supervision is entered. On the basis of analysis of set of back trajectories the quantitative characteristics of zones of influence for various seasons, time intervals and transport isobaric surfaces are estimated. The preliminary analysis of events of air masses arrival to the point of supervision in Kourovka astronomical observatory from significant regional sources of pollution is executed. The attempt to establish correlations between the given events and aerosol optical thickness for different wavelengths and parameters of aerosol particles size distribution function is made.