

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

И. Колев, О. Първанов, Вл. Полянов, Я. Панева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ  
АЭРОЗОЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ  
АТМОСФЕРЫ ПРИ ЛИДАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Показано, что корреляционные функции аэрозольных неоднородностей практически не зависят от длины волны лидара и проявляют зависимость от устойчивости слоев атмосферы. В условиях неустойчивой стратификации наблюдаются высокочастотные флуктуации, тогда как в устойчивой атмосфере — низкочастотные с пространственными размерами до нескольких километров.

Оптические характеристики атмосферных аэрозольных неоднородностей (АН) изменяются в зависимости от метеопараметров атмосферы [1]. Исследование пространственно-временных вариаций этих характеристик способствовало бы косвенному определению скорости ветра [2], температурной стратификации и некоторых характеристик атмосферной турбулентности [3]. Проследивание поведения АН над заданным регионом может внести значительный вклад в выяснение таких явлений, как перенос и диффузия загрязнений, взаимодействие планетарного пограничного слоя (ППС) и свободной атмосферы. В этих исследованиях, выполняемых в большинстве своем традиционными средствами (метеомачты, шары-зонды и самолеты) [4, 7, 8, 10], особое место занимают дистанционные лидарные исследования [1, 2, 3, 5].

Цель данной работы — экспериментальное определение корреляционных функций коэффициента обратного аэрозольного рассеяния [1] и пространственных размеров АН на разных высотах при различных атмосферных стратификациях, характеризуемых числом Ричардсона

$$R_i = \frac{g}{T_0} \frac{\gamma - \gamma_a}{\beta^2}$$

где  $g$  — ускорение свободного падения;  $T_0$  — абсолютная температура;  $\gamma_a$  — сухоадиабатический градиент температуры;  $\gamma = -\partial T/\partial z$  — реальный градиент температуры;  $\beta = \partial u/\partial z$  — вертикальное изменение горизонтальной скорости ветра ( $R_i < 0$  — неустойчивая,  $R_i = 0$  — безразличная и  $R_i > 0$  — устойчивая стратификация).

В этих исследованиях использованы два лидара: с лазером на рубине для наклонного двухтрассового зондирования; с лазером на YAG — для вертикального трехтрассового зондирования. Основные параметры этих лидаров приводятся в табл. 1, подробное описание дано в [6].

Таблица 1

Лазер	Длина волны, нм	Длительность импульса, нс	Энергия в импульсе, Дж	Частота повторения, Гц	Приемная антенна, мм	Фото-детектор	ЭВМ, память
ОГМ-20	694	20	$4 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	∅ 150	ФЭУ-84	СС625;
ЛТИПЧ-7	532	15	$5 \cdot 10^{-3}$	12,5			
«Quantel»	532	13	$5 \cdot 10^{-1}$	10			
					$f = 2200$		64 Кбайт

Нами была предпринята попытка систематизации лидарных данных об атмосферных неоднородностях, собранных за восемь последних лет. Обобщены данные 60 серий экспериментов, их распределение по временам года и суток (табл. 2).

Метеорологическое состояние атмосферы контролировалось радиозондированием в 2, 8 и 14 часов местного времени и по картам барической топографии. Условия с развитой облачностью в пределах дальности действия лидара исключались из рассмотрения.

Лидарные данные обрабатывались с целью получения временных автокорреляционных функций (АКФ) сигналов, связанных с флуктуациями коэффициента обратного рассеяния и концентрации аэрозольных частиц в АН [7]. Полученные корреляционные функции на длинах волн 532 и 694 нм практически не различаются, но проявляется зависимость от устойчивости слоев атмосферы. При этом можно выделить три случая.

Таблица 2

Время года	Годы	Зондирование		Количество экспериментов	Примечание
		днем	ночью		
Лето	1979, 1980, 1984, 1987	6	9	15	Включены все месяцы года, за исключением января, февраля и августа
Осень	1982, 1983	8	7	15	
Зима	1983, 1979, 1980,	6	6	12	
Весна	1979, 1980, 1983, 1985, 1986	6	12	18	

1.  $R_i < 0$  — неустойчивая стратификация, относящаяся главным образом к летним измерениям в дневное время. АКФ, соответствующие этому случаю, представлены на рис. 1 и показывают, что использованная дискретизация ( $\Delta t = 0,24 \dots 1$  с) недостаточна для определения временного радиуса корреляции, а следовательно, и пространственных размеров неоднородностей при известной скорости ветра ( $v = 1 \dots 2$  м/с). Наличие в лидарных измерениях двух или трех трасс обеспечивает оценку соразмерности неоднородностей с расстоянием между лазерными пучками (база). В данном случае база равна 15 ... 20 м и, таким образом, размер неоднородностей  $L < 20$  м. Причем  $L$  не зависит от высоты  $z$  в интервале 12 ... 400 м. Наличие таких мелких неоднородностей может быть объяснено неустойчивой стратификацией вследствие развитой термической конвекции. Отсутствие зависимости  $L$  от высоты обусловлено независимостью скорости диссипации энергии турбулентности от  $z$  при  $z \gg L$ .

2.  $R_i = 0$  — безразличная стратификация, она наблюдается обычно весной и осенью. АКФ для безразличной стратификации представлены на рис. 2. Как видно из рисунка, пространственные размеры АН существенно возросли. Причем  $L$  увеличивается с высотой в соответствии с профилем ветра ( $v = 2 \dots 7$  м/с).

При длительности временных реализаций 2 ... 10 мин пространственные размеры АН находятся в пределах 30 ... 300 м. Рост масштабов АН с увеличением высоты можно связать с уменьшением скорости диссипации энергии турбулентности по мере уменьшения влияния подстилающей поверхности. Наиболее подходящие базы для исследования АН при безразличной стратификации близки к  $(0,1 \dots 0,2) z$ .

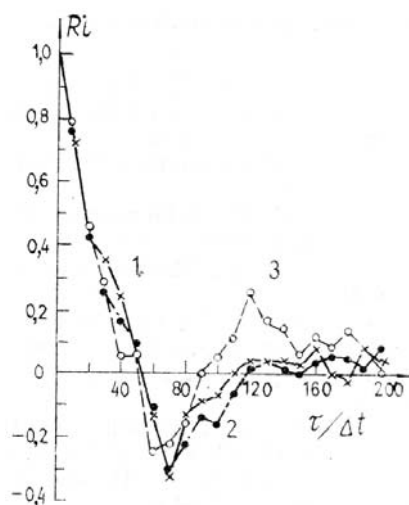


Рис. 1. Автокорреляционные функции лидарных сигналов для трех трасс зондирования в условиях  $R_i < 0$ , длительность реализаций 400 с

3.  $R_i > 0$  — устойчивая стратификация, наблюдается весной и осенью в ночное время, а также зимой в дневное время. Как показали эксперименты, в устойчиво стратифицированном пограничном слое АКФ проявляют большое разнообразие. Наблюдались АН размерами от нескольких метров до нескольких километров, причем последние обнаруживаются в виде трендов. На рис. 3 показано несколько АКФ, полученных в области  $R_i > 0$ . Критерием характера поведения АКФ может служить высота исследуемого слоя относительно температурной инверсии. Вблизи ее верхней границы АН имеют размеры нескольких сотен метров и более. В слое перемешивания размеры увеличиваются с высотой. Вблизи нижней границы инверсии часто наблюдается максимум скорости ветра, здесь влияние турбулентности и устойчивости конкурируют [9], а флуктуации лидарных сигналов имеют высокочастотную составляющую.

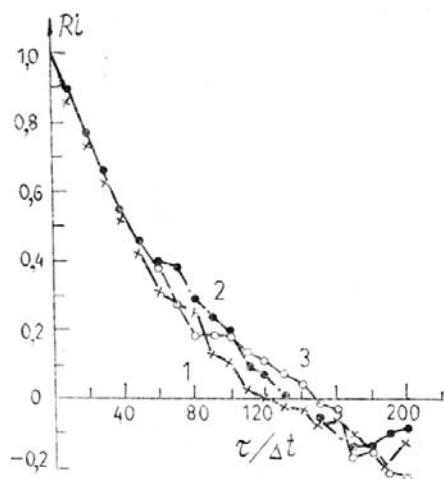


Рис. 2. То же, что и на рис. 1, но для  $R_i = 0$

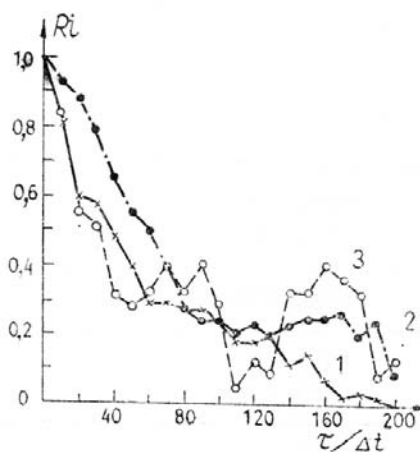


Рис. 3. То же, что и на рис. 1, но для  $R_i > 0$

В заключение отметим, что на основании систематизации лидарных данных по размерам АН в зависимости от метеорологической стратификации можно предположить выполнение гипотезы о консервативной примеси для поля концентрации аэрозоля. Кроме того, применение аэрозольного лидара может быть весьма полезным при обосновании ряда теоретических выводов, подтвержденных для приземного и пограничного слоев и для свободной атмосферы.

1. Матвиенко Г.Г., Задде Г.О., Фердинандов Э.С. и др. Корреляционные методы лазерно-локационных измерений скорости ветра. — Новосибирск: Наука, 1985. — 223 с.
2. Kolev I., Parvanov O., Avramova R. et al. — Int. Conf. OMDSA, Florence, Italy, 1986.
3. Kunkel K.E., Eloranta E.M., Weinmann J.A. — J. Atmos. Sci., 1980, v. 37, № 5, p. 978.
4. Гришин А.И., Матвиенко Г.Г. — Изв. АН СССР. ФАО, 1981, т. 17, № 11, с. 1148.
5. Балин Ю.С., Беленький М.С., Миронов В.Л. и др. — Изв. АН СССР. ФАО, 1986, т. 22, № 10, с. 1060.
6. Колев И., Аврамова Р., Банков О. и др. — Изв. ДКНТП (НРБ), 1983, кн. 18.
7. Белан Б.Д., Гришин А.И., Задде Г.О., Матвиенко Г.Г. — Изв. АН СССР, ФАО, 1987, т. 23, № 4, с. 402.
8. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. — М.: Наука, 1967. — 548 с.
9. Колев И., Иорданова Л., Полянов Вл., Първанов О. — Доклады БАН, 1987 (в печати).
10. Винниченко Н.К., Пинус Н.З., Шметер С.М., Шур Г.Н. Турбулентность в свободной атмосфере. — Л.: Гидрометеиздат, 1976.

Институт электроники  
Болгарской Академии  
наук, София, НРБ

Поступило в редакцию  
5 ноября 1987 г.

I. Kolev, O. P'rganov, V. Polyanov, Ya. Paneva. **Retrieval of Aerosol Inhomogeneity Correlation Functions for Atmospheric Boundary Layer from Laser Sounding Data.**

The aerosol inhomogeneity correlation functions are shown to be practically insensitive to the laser wavelength used and dependent on the stability of atmospheric stratification. In particular, for the unstable atmosphere, high-frequency fluctuations are found to occur, while, in the case of the stable stratification, low-frequency fluctuations with a spatial scale up to several kilometers are observed.