

УДК 535.2:621.373.826; 535.3 (575.2) (04)

ДИНАМИКА АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ
ПО ДАННЫМ ЛИДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Д.Н. Крымская

Проведен анализ экспериментальных данных динамики аэрозольных слоев по результатам многоволнового лидарного зондирования атмосферы по методике, разработанной на Лидарной станции Теплоключенка.

Ключевые слова: атмосфера; турбулентность; аэрозоль; лидарное зондирование; вейвлет-анализ.

Как известно, структурная характеристика показателя преломления атмосферы C_n^2 является одной из важнейших характеристик, определяющих степень турбулентности атмосферы, которая, в свою очередь, может описывать динамику атмосферного аэрозоля в пограничном слое.

В [1] приведена теория метода расчета структурной характеристики показателя преломления (C_n^2) по дисперсии лидарного сигнала и экспериментальные данные распределения C_n^2 по вертикали по данным лидарного зондирования. Используя соотношения, приведенные в [2], данные обрабатывались по формуле, связывающей квадрат дисперсии логарифма интенсивности $\sigma_{\ln I}^2$ с C_n^2 :

$$\sigma_{\ln I}^2 = K(x,y) C_n^2 k^{7/6} L^{11/6}, \quad (1)$$

откуда

$$C_n^2 = \frac{\sigma_{\ln I}^2}{K(x,y) k^{7/6} L^{11/6}}, \quad (2)$$

где k – волновое число; L – длина трассы; $K(x,y)$ – параметр, зависящий от геометрии волны.

В [1] при расчете C_n^2 коэффициент $K(x,y)$ принимался равным 1 и не вносил существенного вклада в значение структурной функции показателя преломления. Поскольку измерения сигналов обратного рассеяния лидара проводились на трех длинах волн – 355, 532 и 1064 нм, целесообразным является расчет коэффициента $K(x,y)$ именно для этих длин волн. В работе [3] показано, что в оптическом диапазоне длин волн параметр $K(x,y)$ меняется незначительно и принимает следующие значения: $K(x,y)=1,05$ для $\lambda=300$ нм, $K(x,y)=0,97$ для $\lambda=700$ нм, что свидетельствует о явной линейной зависимости параметра $K(x,y)$ от длины волны. Исходя из этого, были рассчитаны значения $K(x,y)$ в зависимости от длин волн многоволнового ли-

дарного зондирования на Лидарной станции Теплоключенка (ЛСТ).

Расчеты структурной характеристики показателя преломления C_n^2 и ее распределения по высоте в зависимости от времени суток и длины волны лидарного зондирования были проведены по формуле (2), в которой $K(x,y)$ принимает значения, близкие к 1. При этом в расчетах дисперсии сигнала были использованы сигналы обратного рассеяния лазера, полученные при проведении экспериментов по исследованию характеристик атмосферного аэрозоля на ЛСТ.

На рисунке 1 представлены зависимости структурной характеристики показателя преломления C_n^2 от высоты для различных длин волн в дневное время (12.00). На рисунке явно видна зависимость C_n^2 от длины волны.

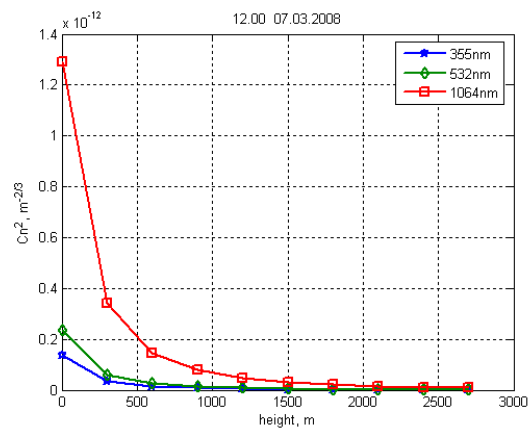


Рисунок 1 – Распределения C_n^2 по высоте днем в зависимости от длины волны. 07.03.2008 12:00

Для длин волн 355 и 532 нм различие в значениях C_n^2 небольшое, а для $\lambda=1064$ нм наблюдается

увеличение структурной характеристики показателя преломления на порядок по сравнению с другими длинами волн.

На рисунках 2 и 3 также представлены зависимости C_n^2 от высоты для тех же длин волн, но в ночное (23.00) и в утреннее время суток (9.00).

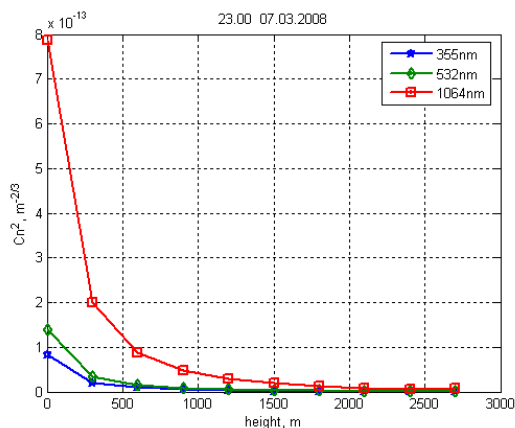


Рисунок 2 – Распределения C_n^2 по высоте ночью в зависимости от длины волны. 07.03.2008.23:00

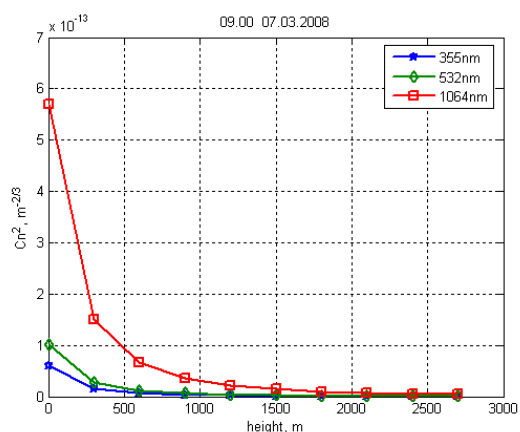


Рисунок 3 – Распределения C_n^2 по высоте утром в зависимости от длины волны. 07.03.2008.09:00

На рисунках видно, что в ночное время суток значения структурной характеристики показателя преломления, как и ожидалось, меньше, чем днем, а в утреннее время, особенно перед сменой циркуляции, значительно меньше, чем днем.

На рисунке 4 приведен график зависимости структурной характеристики показателя преломления C_n^2 от высоты для длины волны 355 нм, построенный в логарифмическом масштабе. На рисунке видно, что в распределении C_n^2 отмечается слоистая структура, связанная с наличием аэрозольных слоев.

Полученная зависимость (рисунок 4) хорошо согласуется с данными, приведенными в работе

[4], где также прослеживается слоистая структура C_n^2 в пограничном слое и выше.

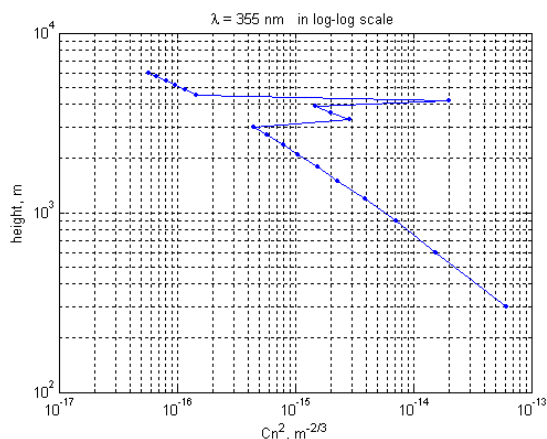


Рисунок 4 – Распределение C_n^2 по высоте для длины волны 355нм в логарифмическом масштабе

Рассмотрим сигналы обратного рассеяния лидара 3 и 7 марта 2008 г., обработанные с помощью аппарата вейвлет-преобразования.

На рисунках 5 и 6 представлены отношения рассеяния, вычисленные по сигналу обратного рассеяния и его вейвлет-преобразование, а также средний профиль вейвлет-коэффициентов и его аппроксимация периодической функцией.

На рисунках видно, что в атмосфере имеются аэрозольные структуры, занимающие переходную часть от длинноволновых масштабных факторов к коротковолновым. При этом расположение максимумов и минимумов позволяет предположить наличие скрытой периодичности в исследуемых аэрозольных структурах. Скорее всего, это связано с тем, что в пограничном слое перенос аэрозоля осуществляется вниз или вверх в зависимости от сил плавучести, которые возбуждают волны плавучести.

Исследование динамики атмосферного аэрозоля по вертикали имеет большое практическое значение, например, в исследованиях по распространению атмосферных волн, обуславливающих особенности в распределении аэрозольных слоев, влияющих на перенос радиации, а также при зондировании атмосферы со спутников.

Таким образом, приведенные в статье результаты исследований свидетельствуют о наличии периодичностей в динамике атмосферного аэрозоля, что объясняется наличием сил плавучести в атмосфере, а значит и волн плавучести. Полученные данные являются продолжением исследования по проверке новой методики расчета распределения C_n^2 по высоте по сигналам обратного рассеяния лидара, подробно описанной в [1]. Чем больше длина

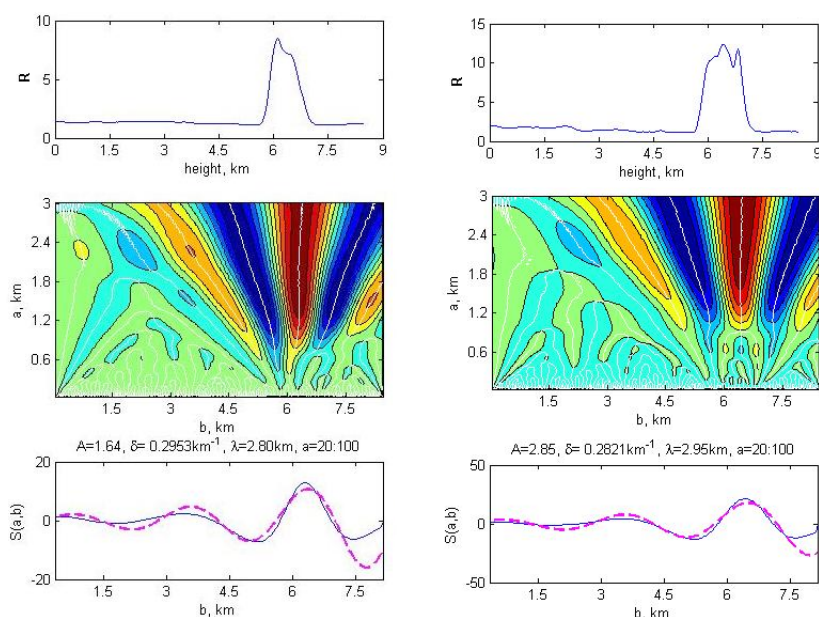


Рисунок 5 – Отношения рассеяния, спектры коэффициентов вейвлет-преобразования (верхние рисунки), профили спектра (сплошная линия на нижних рисунках) и их аппроксимации (пунктир). 3 марта 2008 г. (левые рисунки), 7 марта 2008 г. (рисунки справа)

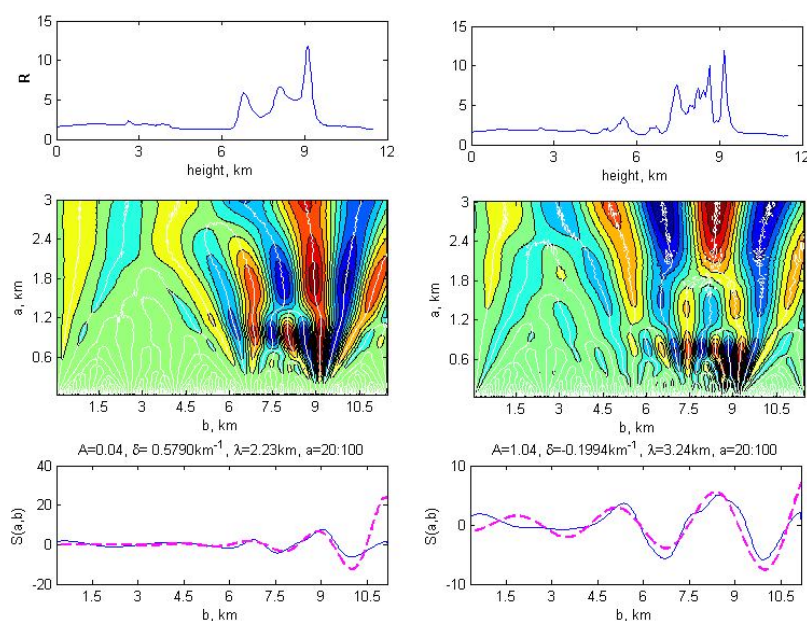


Рисунок 6 – Отношения рассеяния, спектры коэффициентов вейвлет-преобразования (верхние рисунки), профили спектра (сплошная линия на нижних рисунках) и их аппроксимации (пунктир). 14 марта 2008 г. (левые рисунки), 15 марта 2008 г. (рисунки справа)

волны, тем меньше C_n^2 , и наоборот. Приведенные оценки справедливы для слоя активного турбулентного перемешивания или пограничного слоя атмосферы.

Литература

1. Чен Б.Б., Крымская Д.Н. Оценка степени турбулентности атмосферы при лидарном зондировании // Вестник КРСУ. 2007. Том 7. № 8. С. 60–63.

2. *Татарский В.И.* Распространение волн в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1967. 548 с.
3. *Котеров В.Н., Савельев А.Д., Толстых А.И.* Численное моделирование аэрооптических полей около приемного порта воздушной обсерватории // Математическое моделирование. 1997. Том 9. № 1. С. 27–39.
4. *Плужник Е.А.* Влияние астроклимата и микроклимата башни телескопа на качество изображения: учебн. пособие. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2004.