



УДК 550.338

**О. П. Сулова, И. В. Карнов, Ф. С. Бессараб, А. В. Радиевский****ДИНАМИКА ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ  
ПО ЛИДАРНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ В КАЛИНИНГРАДЕ**

Представлены результаты наблюдений динамики приземного аэрозоля, выполненные с применением двухволнового (532 и 1064 нм) атмосферного лидара (LSA-2S) с декабря 2011 по январь 2012 г. в утренние часы (8–10 ч) – во время прохождения солнечного терминатора. Установлено, что в данный период появляются осцилляции характеристик аэрозоля с периодами 15–20 мин. Предполагается, что они могут быть вызваны возбуждением внутренних гравитационных волн в области солнечного терминатора.

73

*This paper presents the results of observations of the dynamics of ground-level aerosol made using two-wavelength (532, 1064 nm) atmospheric lidar (LSA-2S). The observations were made in December 2011 – January 2012 in the morning (8–10 h LT) in order to study the dynamics of aerosol during of the solar terminator period. In the observations revealed that appear aerosol characteristics oscillations with periods of 15–20 min during the period of the solar terminator. It is assumed that these oscillations can be caused by the excitation of internal gravity waves in the solar terminator.*

**Ключевые слова:** атмосфера, аэрозоль, лидар, солнечный терминатор, внутренние гравитационные волны.

**Key word:** atmosphere, aerosol, lidar, solar terminator, internal gravity waves.

В настоящее время в исследованиях атмосферы широко используются активные методы зондирования, в частности лидарное зондирование для изучения характеристик атмосферного аэрозоля в экологических целях. Аэрозольный лидар представляет собой аналог радара, работающего в оптическом диапазоне. Источником излучения в лидаре является лазер. Распространение лазерного луча в атмосфере сопровождается его рассеиванием на флуктуациях плотности (релеевское рассеивание) и мельчайших частицах – аэрозолях, которые во многих случаях являются загрязняющим атмосферу компонентом. По величине и форме рассеянного сигнала, принимаемого лидаром, можно судить о распределении аэрозоля и его характеристиках.

В данной статье представлены результаты наблюдений атмосферного аэрозоля, выполненные с помощью лидара в декабре 2011 – январе 2012 г. Измерения характеристик аэрозоля с целью определить особенности вертикальной структуры и динамики аэрозоля в период прохождения солнечного терминатора проводились в утренние часы.

В наблюдениях применялся атмосферный двухволновой (532 и 1064 нм) лидар ЛСА-2С производства ООО «Обнинская фотоника» (Россия), предназначенный для экологических наблюдений характери-



стик аэрозоля и позволяющий осуществлять зондирование на расстояниях до 10–12 км. Характеристики аэрозоля могут быть определены на различных высотах в атмосфере, в пределах длины трассы зондирования, при изменении угла наклона трассы к поверхности. Методы обработки результатов измерений, позволяющие определить коэффициенты обратного рассеивания в обоих каналах излучения, объемную концентрацию аэрозоля и эффективный радиус рассеивания, изложены в работах [1; 2] и реализованы в виде программного комплекса для обеспечения измерений и их обработки на лидаре ЛСА-2С.

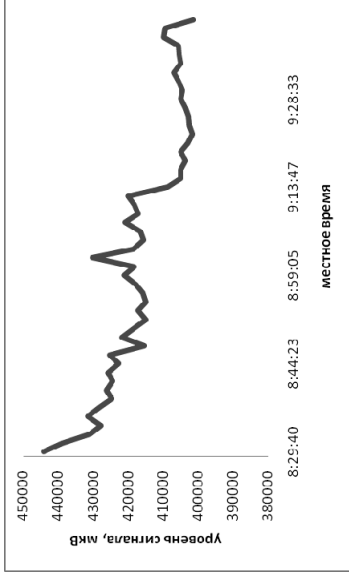
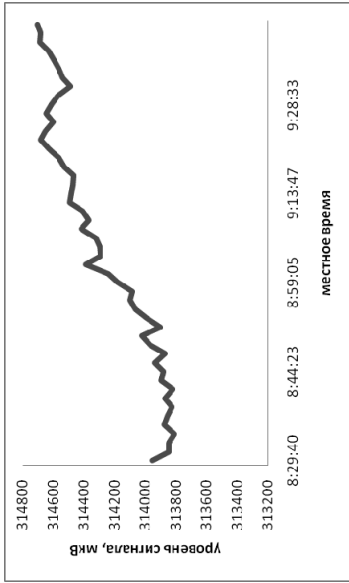
На рисунке 1 отражены результаты измерений коэффициентов обратного рассеивания, выполненные 14.12.2011 г. Измерения проводились приблизительно 1,5 ч (08.25–10.00). Местное время восхода солнца – 8 ч 54 мин. На рисунке 1, *а* показаны изменения интенсивности сигналов обратного рассеивания при излучении волны длиной 532 нм и 1064 нм на высоте около 400 м, на рисунке 1, *б* – на высоте около 1,6 км.

На низких высотах отмечается достаточно монотонный ход интенсивности рассеянного сигнала с увеличением ее интенсивности на длине волны 532 нм и понижением на длине волны 1064 нм на высоте 400 м (рис. 1, *а*). На высоте около 1600 м (рис. 1, *б*) проявляются предвосходные колебания интенсивности рассеянного сигнала на обеих длинах волн. Такие же колебания в этот период наблюдений наиболее отчетливо видны на высотах 1000–1600 м. На меньших высотах предвосходные осцилляции менее выражены.

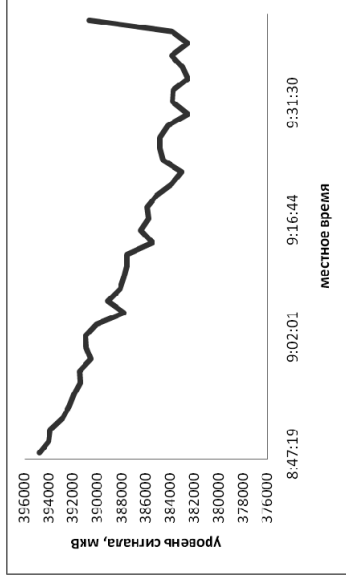
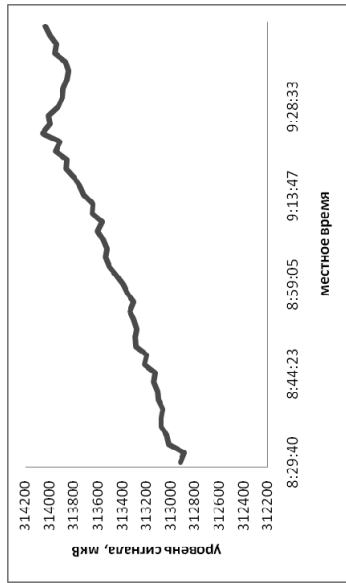
На рисунке 2 показано изменение со временем объемной концентрации аэрозоля на различных высотах. Здесь отчетливо выделяется область значительных изменений объемной концентрации в период прохождения солнечного терминатора. При этом на меньших высотах возмущения возникают до восхода солнца, а на больших высотах – после восхода.

Пространственное изменение объемной концентрации вдоль трассы зондирования характеризуется понижением концентрации аэрозоля в предвосходный период на малых высотах и увеличением ее на больших высотах после восхода. Наблюдения показали, что с восходом солнца атмосферный аэрозоль поднимается вверх. При этом на фиксированных высотах отмечаются осцилляции объемной концентрации с периодами 15–20 мин.

На рисунке 3 представлена временная изменчивость эффективного радиуса аэрозоля: в течение всего периода наблюдения отмечаются осцилляции эффективного радиуса аэрозоля на высотах более 1000 м, на меньших высотах изменения радиуса аэрозоля наблюдаются только непосредственно перед восходом и сразу после восхода солнца. Период осцилляций эффективного радиуса аэрозоля на высотах более 1000 м в целом совпадает с периодом осцилляций объемной плотности аэрозоля – 15–20 мин. Фазы осцилляций на разных высотах не совпадают, а непосредственно в окрестности терминатора осцилляции на разных высотах противофазны (рис. 3).



*a*



*б*

Рис. 1. Уровень обратного рассеивания лидарного сигнала на длине волны 532 (слева) и 1064 нм (справа):  
*a* – высота отражающего слоя 400 м; *б* – высота слоя 1600 м

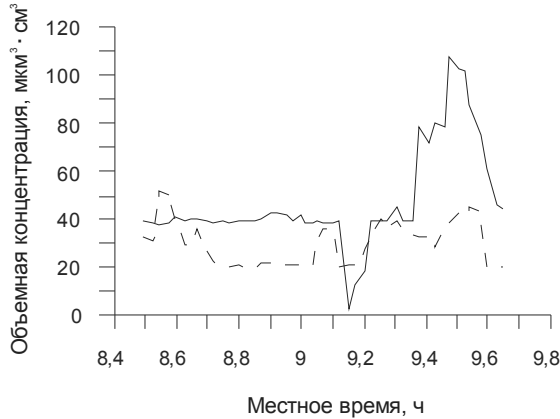


Рис. 2. Изменение со временем объемной концентрации аэрозоля на высоте 100 (штриховая линия) и 1400 м (сплошная линия)

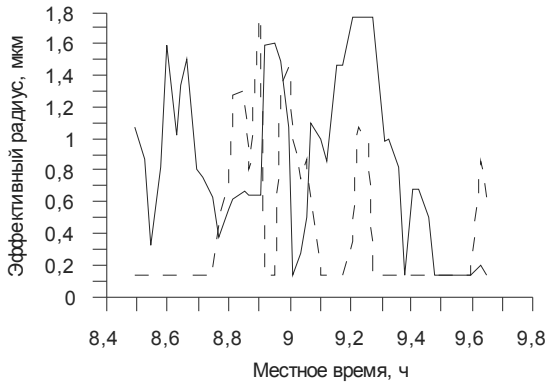


Рис. 3. Изменение во времени эффективного радиуса аэрозоля на высоте 100 (штриховая линия) и 1400 м (сплошная линия)

Кроме того, после восхода солнца наблюдается тенденция к уменьшению эффективного радиуса аэрозоля с увеличением высоты.

Такое поведение аэрозоля может быть объяснено многими причинами. Однако не вызывает сомнений, что концентрация и радиус аэрозоля определяются главным образом температурой и давлением в атмосфере. Следовательно, изменение характеристик аэрозоля является отражением динамических процессов в атмосфере, а аэрозоль — трассер этих изменений.

Результаты выполненных измерений характеристик приземного аэрозоля показывают, что в период прохождения солнечного терминатора отмечаются важные особенности динамики приземного аэрозоля. В измерениях отчетливо видны осцилляционные изменения характеристик аэрозоля в предвосходной области. Характерные времена осцилляций составляют 15–20 мин и могут наблюдаться за 0,5–1 ч до восхода солнца. Такие особенности проявляются в периодическом изменении интенсивности рассеянного сигнала на длине волне зондиро-



вания, объемной концентрации аэрозоля, а также в эффективном радиусе аэрозоля. При этом относительно большие значения радиуса аэрозоля уменьшаются в приземном слое по мере приближения терминатора и смещаются вверх по вертикали.

Можно предположить, что в области солнечного терминатора формируются волновые структуры — внутренние гравитационные волны с определенными периодами, распространение которых приводит к изменению характеристик атмосферного аэрозоля. Отметим, что в верхней атмосфере в радиофизических измерениях также установлено, что в области солнечного терминатора формируются волновые структуры типа внутренних гравитационных волн с частотами, близкими к частоте Вайсяля — Брента [3].

### Список литературы

1. *Кориунов В.А.* Алгоритм автоматизированной обработки данных двухволнового лидарного зондирования на наклонных трассах // Экологическое приборостроение. 2009. № 12. С. 3—10.
2. *Кориунов В.А.* О восстановлении интегральных параметров тропосферного аэрозоля по данным двухволнового лидарного зондирования // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43, № 5.
3. *Карпов И.В., Бессараб Ф.С.* Модельное исследование влияния солнечного терминатора на параметры термосферы // Геомагнетизм и аэрномия. 2008. Т. 48, №2. С. 217—227.

### Об авторах

Ольга Павловна Суслова — ассист., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.  
E-mail: opsuslova@kantiana.ru

Иван Викторович Карпов — д-р физ.-мат. наук, проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.  
E-mail: ivkarpov@inbox.ru

Федор Семенович Бессараб — канд. физ.-мат. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.  
E-mail: pcizmiran@gazinter.net

Александр Викторович Радиевский — канд. физ.-мат. наук, доц., ст. науч. сотр., ЗО ИЗМИ РАН, Калининград.  
E-mail: pcizmiran@gazinter.net

### About authors

Olga Suslova — assistant professor, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.  
E-mail: opsuslova@kantiana.ru

Ivan Karpov — Dr, professor, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.  
E-mail: ivkarpov@inbox.ru

Fedor Bessarab — PhD, associate professor, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.  
E-mail: pcizmiran@gazinter.net

Aleksander Radievsky — PhD, associate professor, pr. sci. col., W.O. IZMI RAN, Kaliningrad.  
E-mail: pcizmiran@gazinter.net