

## О ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ БИОАЭРОЗОЛЕЙ В ТРОПОСФЕРЕ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2004 г. А. И. Бородулин, А. С. Сафатов, О. Г. Хуторова, Б. Д. Белан, М. В. Панченко

Представлено академиком Л. С. Сандахчиевым 29.03.2004 г.

Поступило 29.03.2004 г.

### ВВЕДЕНИЕ

ГНЦ ВБ “Вектор” в кооперации с рядом институтов СО РАН проводят систематическое изучение биогенной компоненты атмосферного аэрозоля юга Западной Сибири [1–4]. Под термином “биогенная компонента” авторы подразумевают следующие составляющие атмосферного аэрозоля: суммарный белок и жизнеспособные микроорганизмы. Обобщение и анализ полученных данных показали, что биогенная компонента атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири в основном определяется наличием удаленных источников атмосферных примесей [4]. Таким образом, на свойства полей концентрации биоаэрозолей должны также влиять колебательные процессы, происходящие в атмосфере. Представленный в публикации [5] анализ данных о приземной концентрации аэрозолей суммарного белка, полученных в окрестностях г. Новосибирска, позволил установить связь вариаций массовой концентрации аэрозолей и концентрации суммарного белка в приземном слое атмосферы с ее характерными периодическими синоптическими процессами.

В данном сообщении приведены результаты вейвлетного и гармонического анализа массива экспериментальных данных о концентрации аэрозолей суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов в тропосфере юга Западной Сибири, полученных за пятилетний период наблюдений с 1999 по 2003 г.

Отбор проб производился в последней декаде каждого месяца с помощью самолета-лаборатории на 8 высотах: 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4, 5,5 и 7 км. По-

леты проводились над Караканским бором, расположенным на правом берегу реки Обь: 54°30′ в.д.; 82°20′ с.ш. Методики отбора и анализа проб описаны в [4]. Таким образом, рассматривалось 2 × 8 временных рядов концентрации, представленных 60 отсчетами.

### МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Вейвлет-преобразование  $Wf(x, a)$  одномерного сигнала  $f(t)$  заключается в его разложении по базису, сконструированному из некоторой специальной функции (вейвлета)  $\Psi(t)$ , посредством масштабных изменений  $a$  и переносов  $x$  [6]:

$$Wf(x, a) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi\left(\frac{t-x}{a}\right) f(t) dt.$$

Каждая из функций этого базиса характеризует определенный временной масштаб  $a$  и его локализацию в физическом пространстве (времени)  $x$ . В отличие от преобразования Фурье вейвлет-преобразование обеспечивает двумерную развертку исследуемого одномерного сигнала, при этом масштаб и координата рассматриваются как независимые переменные. Это представляет возможность анализировать свойства сигнала одновременно во временном и в частотном пространствах [6]. Для анализа вариаций концентрации нами был использован вейвлет Морле

$$\Psi(t) = \frac{1}{2\pi} \exp\left(i\omega_0 t - \frac{t^2}{2}\right),$$

поскольку он хорошо приспособлен для анализа квазипериодических процессов, каковыми являются атмосферные вариации, обусловленные собственными колебаниями атмосферы [7]. Вейвлет Морле также позволяет наглядно представлять данные и легко интерпретировать их в терминах фурье-анализа.

В дополнение к вейвлет-анализу нами также проводился гармонический анализ временных рядов для оценки амплитуд и фаз их периодических

Научно-исследовательский институт аэриобиологии  
Государственного научного центра вирусологии  
и биотехнологии “Вектор”,

пос. Кольцово Новосибирской обл.

Казанский государственный университет

Институт оптики атмосферы  
Сибирского отделения Российской Академии наук,  
Томск

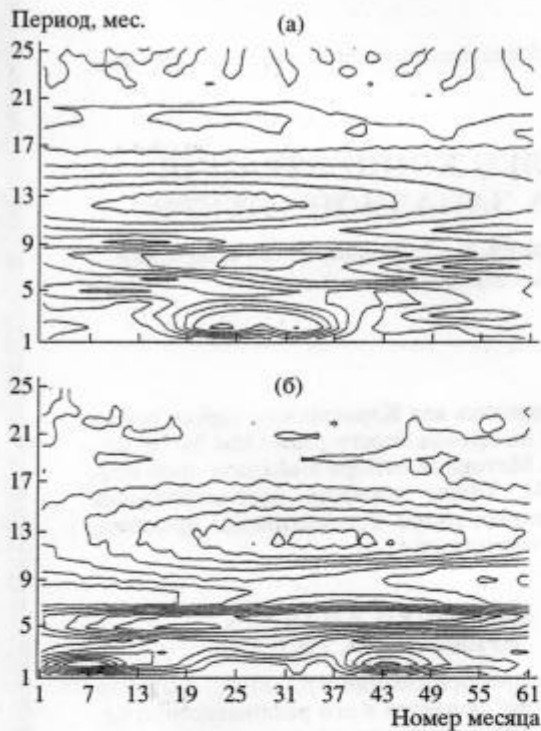


Рис. 1. Вейвлет-преобразование временных рядов концентрации аэрозолей суммарного белка (а) и жизнеспособных микроорганизмов (б) для высоты 7 км.

составляющих. В этом случае временной ряд аппроксимировался суммой гармоник с периодами  $P_i$ , полученными в результате вейвлет-анализа:

$$S(t) = A_0 + \sum_i A_i \cos \left[ (t - T_i) \frac{2\pi}{P_i} \right],$$

где  $A_0$  – постоянная составляющая сигнала,  $A_i$  и  $T_i$  – амплитуды и фазы гармоник, которые находятся методом наименьших квадратов. Обычно периоды задаются из предположений выбранной модели физики атмосферы или находятся другими методами.

Таким образом, вейвлет-анализ временного ряда позволяет выявить существование стабильных колебаний и их временные масштабы, а гармонический анализ – определить амплитуды и фазы обнаруженных периодических процессов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 приведен пример полученных вейвлет-спектров концентрации суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов для высоты 7 км. Вейвлет-спектр для ряда концентраций суммарного белка построен для диапазона его изменения

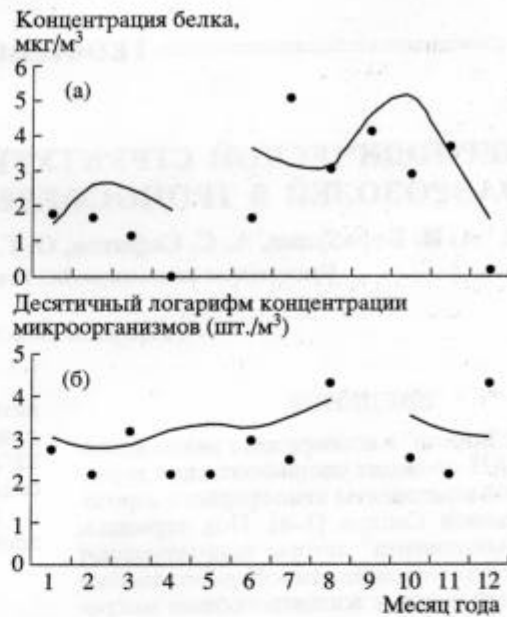


Рис. 2. Аппроксимация экспериментальных рядов концентрации аэрозолей суммарного белка (а) и жизнеспособных микроорганизмов (б) суммой гармоник с выявленными сезонными периодами для высоты 0.5 км.

0.1–1.1 с шагом 0.15, вейвлет-спектр для ряда концентраций жизнеспособных микроорганизмов – для диапазона 0.05–0.35 с шагом 0.05. Анализ полученных данных показывает, что с помощью вейвлет-анализа для каждого временного ряда выявляются регулярные периодические сезонные процессы 12, 8.5, 6 и 4 мес. Амплитуда этих вариаций не постоянна во времени. Кроме регулярных колебаний, иногда выделяются процессы с периодом порядка 24 мес. – межгодовые колебания. Обращает на себя внимание приближенное подобие полученных вейвлет-спектров концентрации суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов. Это позволяет предположить, что вариации массовой концентрации биоаэрозолей во многом определяются динамическими процессами в тропосфере, в частности ее сезонными колебаниями. Вместе с тем неполное подобие вейвлет-спектров, вероятно, указывает на различную природу источников и стоков тропосферных биоаэрозолей.

Был проведен гармонический анализ рядов концентрации. Экспериментальные данные аппроксимированы суммой гармоник с синоптическими периодами 12, 8.5, 6 и 4 мес., т.е. были взяты только те гармоники, которые значимы в вейвлет-спектрах для всех временных рядов. Данные гармонического анализа представлены амплитудами и фазами гармоник с 90%-ной доверительной вероятностью. На рис. 2 приведен пример аппрокси-

мации временных рядов концентрации суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов суммой гармоник для 2000 г. на высоте 0.5 км. Пропуски на рис. 2 соответствуют отсутствию данных. Гармонический анализ временных рядов позволил установить, что в среднем сезонные вариации определяют порядка 80% общей дисперсии вариаций концентрации суммарного белка. Амплитуды вариаций концентрации жизнеспособных микроорганизмов малы по сравнению с постоянной составляющей для всех высот наблюдений. Гармонический анализ показывает, что не все амплитуды сезонных колебаний постоянны в течение периода наблюдений. Оценки также показали, что все гармоники, кроме четырехмесячных, – поверхностные, т.е. на всех высотах наблюдений колебания находятся в фазе. Четырехмесячная периодичность – внутренняя и вызвана волной, распространяющейся сверху вниз с вертикальной скоростью порядка 4 км/мес.

#### ВЫВОДЫ

Вейвлетный и гармонический анализ пятилетних временных рядов концентрации тропосферных биоаэрозолей на качественном уровне показал, что вариации концентрации суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов на юге За-

падной Сибири в основном определяются выявленными периодическими процессами. Этот результат соответствует высказанному нами ранее предположению о том, что биогенная компонента атмосферного биоаэрозоля на юге Западной Сибири в основном формируется за счет наличия ряда независимых друг от друга и сильно удаленных от места наблюдения источников [1, 4].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белан Б.Д., Бородулин А.И., Марченко Ю.В. и др. // ДАН. 2000. Т. 374. № 6. С. 827–829.
2. Андреева И.С., Белан Б.Д., Бородулин А.И. и др. // ДАН. 2001. Т. 381. № 2. С. 278–282.
3. Бородулин А.И., Сафатов А.С., Белан Б.Д. и др. // ДАН. 2002. Т. 385. № 1. С. 113–115.
4. Андреева И.С., Бородулин А.И., Буряк Г.А. и др. // Химия в интересах устойчив. развития. 2002. Т. 10. № 5. С. 547–561.
5. Бородулин А.И., Сафатов А.С., Хуторова О.Г. и др. // ДАН. 2003. Т. 392. № 2. С. 280–282.
6. Torrence G., Compo G. P. // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1998. V. 79. № 1. P. 61–78.
7. Монин А.С. Прогноз погоды как задача физики. М.: Наука, 1969. 184 с.