

И.С. Андреева\*, Б.Д. Белан\*\*, А.И. Бородулин\*, Г.А. Буряк\*, Ю.В. Марченко\*,  
С.Е. Олькин\*, М.В. Панченко\*\*, В.А. Петрищенко\*, О.В. Пьянков\*,  
И.К. Резникова\*, А.С. Сафатов\*, А.Н. Сергеев\*, Е.В. Степанова\*

## Изучение изменчивости биогенной компоненты атмосферного аэрозоля над лесными массивами Западной Сибири

\*ГНЦ ВБ «Вектор», Кольцово, Новосибирская область,  
\*\*ИОА СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 9.02.2000 г.

Приводятся результаты исследования годового изменения биогенной составляющей атмосферы над лесными массивами юга Западной Сибири на высотах 500–7000 м. Впервые для этого региона обнаружены сезонная зависимость концентрации суммарного белка в атмосфере, а также изменения видов и численности в атмосфере живых микроорганизмов. Кроме того, выявлена сильная корреляция концентрации суммарного белка по высотам. Полученные данные имеют важное значение для понимания процессов переноса биогенного аэрозоля в атмосфере, идентификации его возможных источников и оценки влияния неблагоприятных факторов внешней среды (к которым, безусловно, относятся биогенные аэрозоли) на здоровье населения региона.

### Введение

В работе [1] представлены предварительные результаты исследования биологической компоненты атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири. В различные сезоны при наземном отборе проб в атмосфере обнаружено заметное количество суммарного белка и большое разнообразие живых микроорганизмов. Известно, что биоаэрозоли в приземном слое атмосферы могут распространяться на большие расстояния, сохраняя свою жизнеспособность [2–5]. Естественно, при этом они поднимаются на значительные высоты [6, 7], следовательно, для того чтобы более надежно определить возможные источники биоаэрозолей, наземные измерения должны сопровождаться высотными. Первые результаты подобных измерений концентраций и состава биоаэрозолей над лесными массивами Западной Сибири приведены в настоящей статье.

### Материалы и методы

*Самолетное зондирование атмосферы* проводили с помощью самолета-лаборатории Ан-30 «Оптик-Э», оснащенного дистанционными и контактными средствами измерения. В ходе полета, проводившегося над лесными и болотистыми массивами Новосибирской области в конце каждого месяца в течение года, оперативно регистрировали навигационные характеристики (высота полета, скорость и направление ветра относительно земли), метеопараметры (температура, относительная влажность, параметры солнечной радиации и др.), концентрацию и дисперсный состав аэрозоля, концентрацию сажи, некоторых газов, отбирали пробы воздуха для дальнейшего анализа. Пробы воздуха для изучения белковой компоненты атмосферного аэрозоля отбирали на фильтры типа АФА-ХА, а для определения живых микроорга-

низмов – на стандартные импинджеры [8] с расходом 50 л/мин и объемом сорбирующей жидкости 50 мл.

*Анализ проб.* Содержание суммарного белка в пробах анализировали по методу Бредфорда [9]. Точность метода составляла около 30%, чувствительность – 0,1 мкг/мл пробы.

Для обнаружения в пробах атмосферного биоаэрозоля микробиологической компоненты использовали следующие питательные среды [10]: LB с добавлением агара до 1,7% (LBA); LB – обедненный (разбавление 1:10), агаризованный; среды Сабуро и Чапека (рН 6,5) для выявления низших грибов и дрожжей; крахмалоаммиачная среда (КАА) для выявления актиномицетов; почвенный агар.

Исследуемые образцы аэрозолей высевали на чашки Петри с питательными средами (при необходимости готовили последовательные разведения проб) и инкубировали в термостате до 14 сут. Морфологические особенности обнаруженных микроорганизмов исследовали визуально и с помощью световой микроскопии. Для этого готовили фиксированные, окрашенные по Граму, препараты клеток и прижизненные препараты суспензий клеток, наблюдаемые методом фазового контраста. Таксономическую принадлежность выявленных микроорганизмов определяли только до рода.

### Результаты и обсуждение

В табл. 1 суммированы данные концентрации белка в атмосфере на высотах от 500 до 7000 м в зависимости от месяца наблюдения.

Особенностью приведенных данных является то, что их разброс по высотам значительно превосходит оценки погрешностей метода определения количества белка зимой и приближается к ним летом. Это указывает на существенное влияние статистической природы распространения атмосферных примесей. Поэтому установить достоверные профили концентрации атмосферного белка, особенно зимой, пока не представляется возможным.

Таблица 1

Изменение содержания белка в атмосфере с высотой, мкг/м<sup>3</sup>

Высота, м	Месяц проведения пробоотбора										
	12.98	01.99	02.99	03.99	04.99	05.99	06.99	07.99	08.99	09.99	10.99
500	0,29	0,92	–	0,52	н.д.	0	2,36	3,29	4,90	3,55	1,06
1000	0,20*	0,33	–	0,70	1,23	1,49	н.д.	2,48	2,87	0,53	1,33
1500	0,69	0,30	–	н.д.	н.д.	1,36	1,41	н.д.	2,10	4,94	1,42
2000	0,16*	0,21*	–	0,68	1,32	1,34	1,43	3,18	2,89	0,82	3,45
3000	0,17*	0,17*	–	0,37	1,19	1,33	2,08	3,64	4,67	4,20	1,35
4000	0,15*	0,14*	–	0,29	1,31	0,49	2,99	2,89	3,57	3,36	0,96
5500	0,18	0,24	–	0,67	0,54	1,40	3,04	1,18	2,48	4,57	1,55
7000	0,18	0,68	–	0	1,58	0,78	2,00	2,06	3,84	4,44	1,18

Примечание. \* – реальное значение не превосходит приведенного в таблице; н.д. – нет данных.

Таблица 2

## Коэффициенты корреляции данных по концентрации белка в атмосфере по высоте и по времени измерения

1998	1999											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
XII												XII
I	0,10	–	0,18	–0,17	0,11	–0,50	0,16	–0,41	0,39	–0,11		I
II		1	–0,27	0,45	–0,68	–0,05	0,02	0,50	0,16	–0,32		II
III			1	–0,61	0,43	0,01	–0,04	–0,48	–0,59	0		III
500	1			1	–0,49	–0,58	0,54	0,50	–0,25	0,01		IV
1000	0,66	1			1	–0,35	–0,28	–0,65	–0,21	–0,06		V
1500	0,62	0,09	1			1	–0,49	0,19	0,27	–0,53		VI
2000	0,71	0,98	0,21	1			1	0,67	–0,27	–0,34		VII
3000	0,94	0,69	0,79	0,75	1			1	0,12	–0,21		VIII
4000	0,94	0,65	0,71	0,69	0,94	1			1	–0,53		IX
5500	0,66	0,19	0,90	0,24	0,75	0,80	1			1		X
7000	0,91	0,45	0,86	0,50	0,93	0,91	0,85	1				
	500	1000	1500	2000	3000	4000	5500	7000				

Высота полета, м

Тем не менее можно сделать предположение о приближенной однородности распределения белка по вертикали. Такие профили концентрации атмосферной примеси должны наблюдаться от обширных плоскостных источников при условии интенсивного или длительного турбулентного перемешивания. Следует обратить внимание и на тот факт, что изменения концентрации белка по высоте заметно скоррелированы между собой, тогда как временные изменения этой концентрации корреляции не имеют (табл. 2).

Из рис. 1 видно, что суммарное количество атмосферного белка имеет минимальное значение зимой. Весной, с пробуждением растительного и животного мира, оно монотонно растет, и к лету концентрация атмосферного белка достигает своего максимального значения, на порядок превосходящего зимние значения. Анализ полученных данных также показывает, что летом нам удастся определить тенденции в формировании вертикального профиля атмосферного белка. Таким образом, следует ожидать четко выраженного годового, распределенного по высотам наблюдения, цикла изменения белковой компоненты атмосферы. В то же время установление вертикальных профилей концентрации белка и характеристик его сезонного изменения потребует в будущем особого внимания.

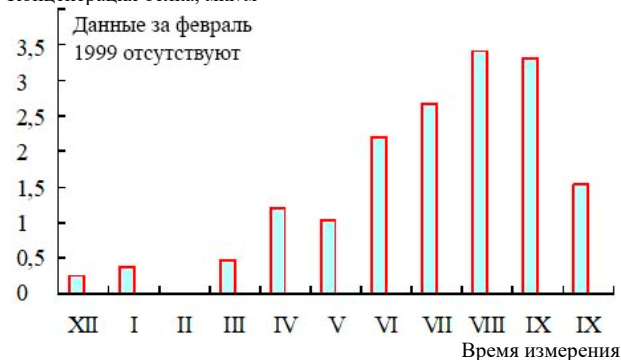
Концентрация белка, мкг/м<sup>3</sup>

Рис. 1. Годовая динамика изменения средней по высотам 5 – 7 км концентрации суммарного белка (римские цифры – месяцы 1999 г.)

Полученные данные по концентрациям суммарного белка в атмосфере были сопоставлены с наблюдаемыми концентрациями аэрозольных частиц (рис. 2 и 3, на которых приведены типичные сопоставляемые зависимости за 6 из 11 мес наблюдений). Никакой связи между концентрацией аэрозольных частиц, измеренной с помощью оптического счетчика аэрозольных частиц, и концентрацией суммарного

белка в атмосфере не обнаружено, хотя в атмосфере в различных условиях биогенные частицы составляют примерно от 10 до 95% [11–13]. Также не обнаружено связи концентрации суммарного белка с концентрациями некоторых газовых составляющих атмосферы (диоксид углерода, озон).

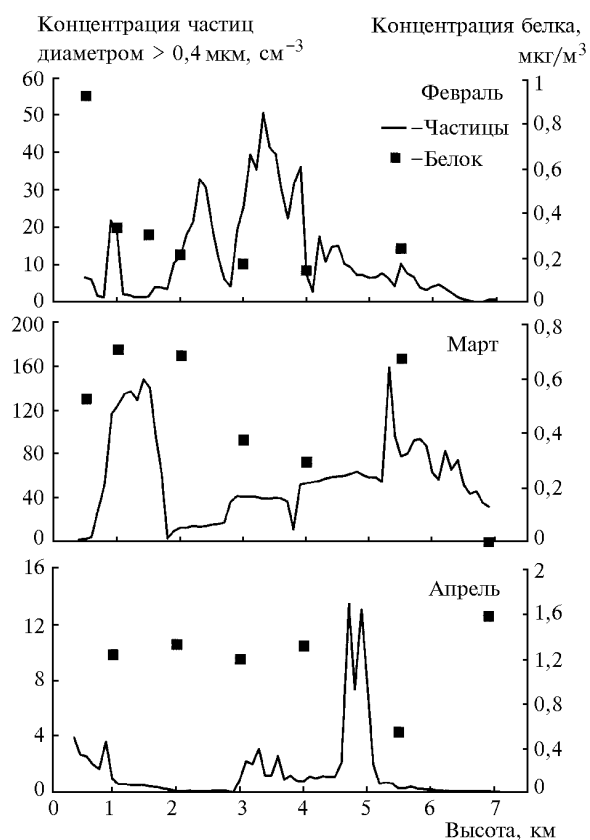


Рис. 2. Зависимости концентраций аэрозольных частиц и суммарного белка в атмосфере от высоты в феврале – апреле 1999 г.

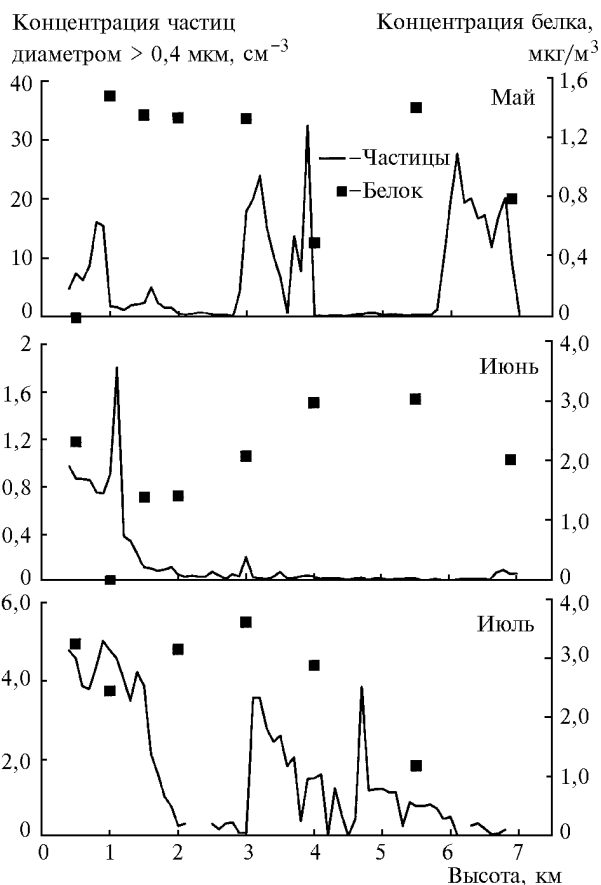


Рис. 3. Зависимости концентраций аэрозольных частиц и суммарного белка в атмосфере от высоты в мае – июле 1999 г.

При анализе проб атмосферного воздуха на присутствие живых микроорганизмов обнаружено сезонное изменение концентрации их различных видов (табл. 3 и 4).

Таблица 3

**Наличие в атмосфере в 1999 г. различных микроорганизмов, проявляемых на почвенном агаре**

Высота, м	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
500	н.о.	н.о.	0	1000	1500	0	86	0
1000	н.о.	0	0	500	6500	0	690	0
1500	0	н.д.	0	н.о.	7000	0	160	0
2000	0	0	н.о.	500	6500	0	0	0
3000	0	0	0	н.о.	6000	670	0	0
4000	н.о.	н.о.	0	н.о.	5500	0	100	0
5500	0	0	2900	н.о.	2000	0	130	0
7000	0	0	н.о.	н.о.	2000	0	40	0

Примечание. н.о. – не определено; н.д. – нет данных.

Таблица 4

**Наличие в атмосфере в 1999 г. различных микроорганизмов, проявляемых на крахмалоаммиачной среде**

Высота, м	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
500	0	0	1200	0	2000	860	0	5
1000	0	0	н.о.	0	2500	170	120	5
1500	0	н.д.	4100	2000	112000	15	20	0
2000	0	900	н.о.	0	4500	330	20	0
3000	0	0	н.о.	н.о.	2500	100	0	0
4000	200000	н.о.	18000	0	3000	н.д.	40	0
5500	1000	0	3600	0	3000	315	0	0
7000	13000	1000	6900	н.о.	500	50	0	0

Примечание. н.о. – не определено; н.д. – нет данных.

Наличие в атмосфере различных микроорганизмов, проявляемых на обедненной, агаризованной среде LB, %

Высота, м	Июнь 1999	Сентябрь 1999
500	Не встречаются	Актиномицеты – 0,03 Бациллы – 34,75 Кокки – 32,79 Диплококки – 31,15 Неспороносные бактерии – 1,00
1000	Бациллы – 66,7 Неспороносные бактерии – 6,7 Кокки – 16,7 Грибы – 9,9	Актиномицеты – 8,33 Бациллы – 12,5 Кокки – 8,33 Диплококки – 66,67 Неспороносные бактерии – 4,17
1500	Кокки – 100	Бациллы – 3,85 Кокки – 96,15
2000	Кокки – 87,5 Бациллы – 12,5	Актиномицеты – 7,69 Бациллы – 3,85 Кокки – 73,08 Диплококки – 15,38
3000	Бациллы – 100	Актиномицеты – 2,00 Бациллы – 7,67 Кокки – 79,00 Диплококки – 11,33
4000	Кокки – 100	Актиномицеты – 0,80 Бациллы – 14,29 Кокки – 23,02 Диплококки – 61,90
5500	Кокки – 50 Неспороносные бактерии – 25 Актиномицеты – 25	Нет данных
7000	Кокки – 60 Неспороносные бактерии – 30 Бациллы – 10	Кокки – 81,23 Неспороносные бактерии – 18,77

В летний период в атмосфере количество микроорганизмов, вырастающих на почвенном агаре, увеличивается, в то же время численность микроорганизмов, выявляемых на среде Сабуро, изменяется незначительно. В качестве иллюстрации наблюдаемого разнообразия микроорганизмов приведем данные по процентному содержанию микроорганизмов в атмосфере, обнаруженных в июне и сентябре 1999 г. (табл. 5). В целом накопленные за время наблюдений результаты не позволяют уверенно говорить о каких-либо закономерностях изменения представительства различных видов микроорганизмов в атмосфере. Также не обнаружено корреляций концентрации микроорганизмов в атмосфере с концентрациями белка, аэрозольных частиц и газовых примесей.

### Выводы

Непродолжительный (менее года) сезон наблюдений и к тому же большой объем полученной информации не позволяют обобщить и объяснить результаты исследований. Тем не менее на основании проделанной работы можно сделать ряд предварительных заключений.

1. Начато комплексное систематическое изучение биогенной компоненты атмосферного аэрозоля в Западной Сибири, проводимое с помощью самолета-лаборатории. Исследования сопровождались измерениями широкого спектра физико-химических характеристик атмосферы и атмосферного аэрозоля, таких как температура, влажность воздуха, направление и скорость ветра, дисперсный и хи-

мический состав атмосферного аэрозоля, присутствие в атмосфере некоторых важнейших газовых примесей и т.д.

2. Обнаружено сезонное изменение концентрации суммарного белка в атмосфере. Изменение этой концентрации с высотой оказалось практически некоррелировано по времени измерения, тогда как степень ее корреляции по высоте велика.

3. В атмосфере юга Западной Сибири на высотах 500 – 7000 м зарегистрировано наличие следующих микроорганизмов: бактерии (прежде всего различные бациллы и кокки, в меньшей мере актиномицеты) и низшие грибы. Количество микроорганизмов в атмосфере имеет достоверно установленное сезонное изменение.

4. Значимые корреляции концентрации микроорганизмов с фоном белка в атмосфере нами не обнаружены (максимальный коэффициент корреляции концентрации микроорганизмов и атмосферного белка составляет менее 30%). Также не обнаружено корреляций концентрации микроорганизмов в атмосфере с концентрациями аэрозольных частиц и газовых примесей.

1. Анкилов А.Н., Бакланов А.М., Бородулин А.И. и др. Оценка биологической компоненты атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 1999. Т. 12. № 6. С. 507–511.
2. Gloster J., Sellers R.F., Donaldson A.I. Long distance transport of foot-and-mouth disease virus over the sea // Vet. Rec. 1982. V. 110. № 1. P. 47–52.
3. Bovallius A., Bucht B., Roffey R., Anas P. Long-range air transmission of bacteria // Appl. Environ. Microbiol. 1978. V. 35. № 6. P. 1231–1232.

4. *Hammond G.W., Raddatz R.L., Gelskey D.E.* Impact of atmospheric dispersion and transport of viral aerosols on the epidemiology of influenza // *Rev. Infect. Dis.* 1989. V. 11. № 3. P. 494–497.
5. *Chatigny M.A., Dimmick R.L., Mason C.J.* Atmospheric transport // *Aerobiology. The ecological system approach* / Ed. R.L. Edmonds. Strandsberg (Penn.): Dowden, Hutchinson and Ross. 1979. P. 85–109.
6. *Жизнь микробов в экстремальных условиях* / Под ред. Д. Кашнера. М.: Мир, 1981. 519 с.
7. *Bruch C.W.* Microbes in the upper atmosphere and beyond // *Airborne Microbes. The 17th Symp. Soc. Gen. Microbiol.* / Ed. P.H. Gregory, J.L. Monteith. 1967. P. 345–374.
8. *Griffiths W.D., DeCosemo G.A.L.* The assessment of bioaerosols: A critical review // *J. Aerosol Sci.* 1994. V. 25. N 8. P. 1425–1458.
9. *Partical Protein Chemistry. A Handbook* / Ed. A. Darbe. Chuchester e.o.: John Wiley & Sons. 1986.
10. *Аникеев В.В., Лукомская К.А.* Руководство к практическим занятиям по микробиологии. М.: Просвещение, 1977. 128 с.
11. *Artaxo P., Storms H., Bruynseels F. et al.* Composition and sources of aerosols from the Amazon basin // *J. Geophys. Res.* 1988. V. 93. № D2. P. 1605–1615.
12. *Artaxo P., Maenhaut W., Storms H., Van Grieken R.* Aerosol characteristics and sources for the Amazon basin during the wet season // *J. Geophys. Res.* 1990. V. 95. № D10. P. 16971–16985.
13. *Matthias-Maser S., Obolkin V., Khodzer T., Jaenicke R.* Seasonal variation of primary biological particles in the remote continental region of lake Baikal/Siberia // *J. Aerosol Sci.* 1998. V. 29. Suppl. 1. P. S545–S546.

*I.S. Andreeva, B.D. Belan, A.I. Borodulin, G.A. Buryak, Yu.V. Marchenko, S.E. Olkin, M.V. Panchenko, V.A. Petrishenko, O.V. Pyankov, I.K. Resnikova, A.S. Safatov, A.N. Sergeev, E.V. Stepanova.* **Study of biogenic components of atmospheric aerosol changes over forest areas of Western Siberia.**

The results of one year study of changes of biogenic component of atmospheric aerosol over forest area in the south of Western Siberia at altitudes from 500 to 7000 m are presented in this paper. Seasonal changes of the total protein concentration in the atmosphere were found in this region. The changes of microorganisms diversity and their seasonal concentrations were found too. Strong correlation between total protein concentrations at various altitudes was found during the whole period of observation. The data obtained are very important for understanding of biogenic aerosol transfer in the atmosphere, identification of its possible sources, and estimation of unfavorable environmental factors (obviously, the bioaerosols belong to them) affecting human beings health in the region.