

А.Н. Анкилов, А.М. Бакланов, Б.Д. Белан, А.И. Бородулин, Г.А. Буряк, А.Л. Власенко, Ю.В. Марченко, С.Е. Олькин, М.В. Панченко, В.В. Пененко, О.В. Пьянков, И.К. Резникова, А.С. Сафатов, А.Н. Сергеев, Е.А. Цветова

Годовое изменение концентрации белка в биогенной компоненте атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири

НИИ аэриологии ГНЦ ВБ «Вектор», пос. Кольцово, Новосибирская область, ИХКиГ СО РАН, г. Новосибирск, ИОА СО РАН, г. Томск, ИВМиМГ, г. Новосибирск

Поступила в редакцию 29.11.2000 г.

Проводимые с конца 1998 г. наблюдения за биогенной компонентой атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири показывают выраженную сезонную изменчивость белковой компоненты аэрозолей. Годовое изменение концентрации белка сильно коррелировано по высотам, тогда как по времени измерения эта корреляция отсутствует. Анализ обратных траекторий движения воздушных масс показал, что белковая компонента атмосферных аэрозолей, зафиксированная в точке измерения, формируется за счет наличия ряда независимых друг от друга и сильно удаленных от мест наблюдения источников.

В [1, 2] нами были представлены результаты предварительного исследования биологической компоненты атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири. В течение 1998 г. в приземном слое атмосферы были обнаружены заметное количество суммарного белка и большое разнообразие живых микроорганизмов. Атмосферные биоаэрозоли могут распространяться на большие расстояния, достигая значительных высот [3, 4], при этом находящиеся в их составе микроорганизмы сохраняют свою жизнеспособность [5–8]. Поэтому для более полного изучения свойств биологической компоненты атмосферных аэрозолей и оценки их источников приземные измерения необходимо сопровождать высотными.

В данной статье приведены результаты высотных измерений концентрации белковой компоненты атмосферных аэрозолей над лесными массивами юга Западной Сибири. Эти измерения выполнены Институтом аэриологии ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор» и Институтом оптики атмосферы СО РАН. Высотные измерения чередовались с наземными, которые проводились Институтом аэриологии ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор» и Институтом химической кинетики и горения СО РАН в том же регионе.

Материалы и методы

Отбор высотных проб проводился с помощью лаборатории «Оптик-Э», смонтированной на базе самолета АН-30. Полеты осуществлялись в двадцатых числах каждого месяца, начиная с декабря 1998 г. На рис. 1 приведена схема, дающая представление о месте проведения экспериментов. Трасса полета протяженностью 50 км проходила над Караканским бором, расположенном на правом берегу р. Оби.

В пределах указанной трассы самолет-лаборатория в дневное время суток последовательно пролетал над лесом на высотах 7000, 5500, 4000, 3000, 2000, 1500, 1000 и 500 м. Для каждой высоты отбиралась одна проба воздуха на фильтр типа АФА-ХА [9] в течение 10–20 мин. Обычно объем забранного воздуха составлял примерно 2 м³.

Наземные пробы отбирались на такие же фильтры. Отбор осуществлялся на двух основных площадках: терри-

тория ИХКиГ СО РАН (на высоте 1,5 м над землей) и ГНЦ ВБ «Вектор» (на высоте примерно 20 м). Кроме того, осуществлялись выездные отборы проб в г. Томске и п. Киреевск. Содержание суммарного белка во всех пробах анализировалось в лабораторных условиях по методу Бредфорда (Bradford) [10]. Чувствительность метода составляла 0,1 мкг/мл смыва пробы с фильтра. Погрешность измерений концентрации не превышала 30%.

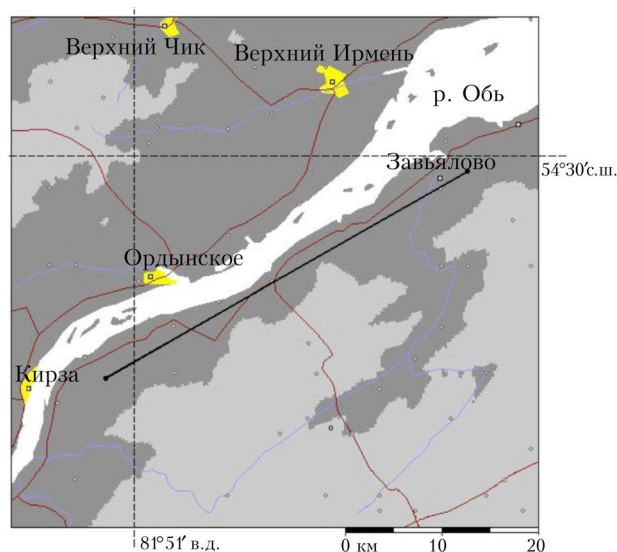


Рис. 1. Схема местности, над которой проводились эксперименты. Прямая линия соответствует трассе полета самолета

Результаты и обсуждение

На рис. 2 приведены данные о зависимости концентрации белка на разных высотах от месяца наблюдения. Особенностью приведенных результатов является то, что зимой их величина находится на границе нижнего предела концентрации, надежно измеряемой данным методом, а разброс данных относительно велик.

В летнее время года абсолютная величина концентрации возрастает, но ее разброс по-прежнему велик. С одной стороны, это указывает на возможное существенное влияние статистической природы распространения атмосферных аэрозолей на количество отобранного белка. Действительно, из-за больших флуктуаций кон-

центрации аэрозолей при ограниченном времени отбора проб в них должен наблюдаться большой разброс измеренных концентраций. С другой стороны, можно сделать предположение о приближенной однородности, плавности изменения среднего значения концентрации белка по вертикали.

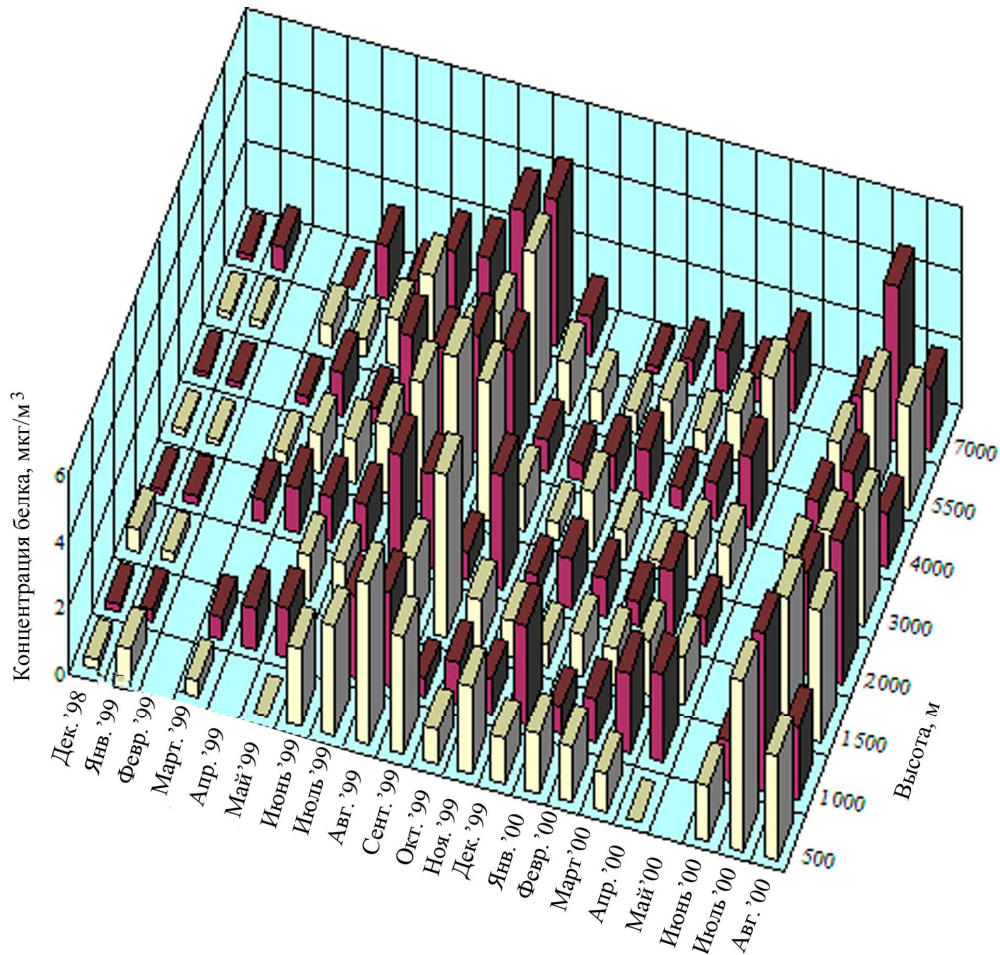


Рис. 2. Изменения с высотой концентрации суммарного белка в атмосфере. Данные для разных высот представлены попеременно светлым и темным цветом

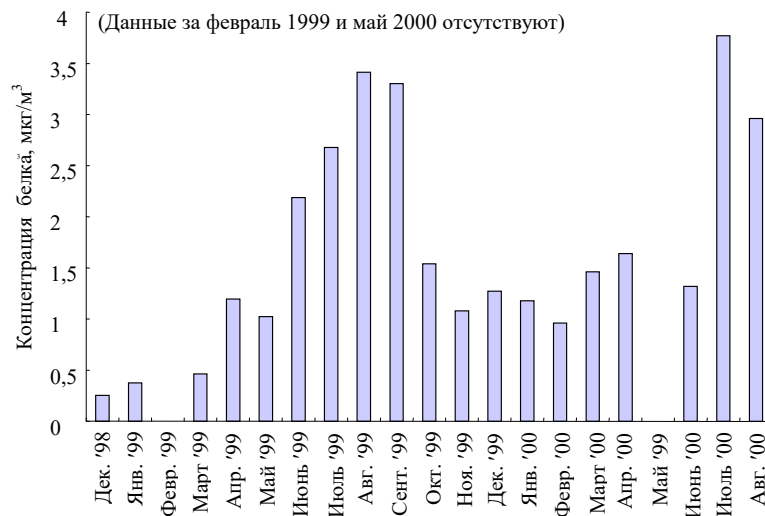


Рис. 3. Усредненные по высотам 500 – 7000 м концентрации белка в атмосфере

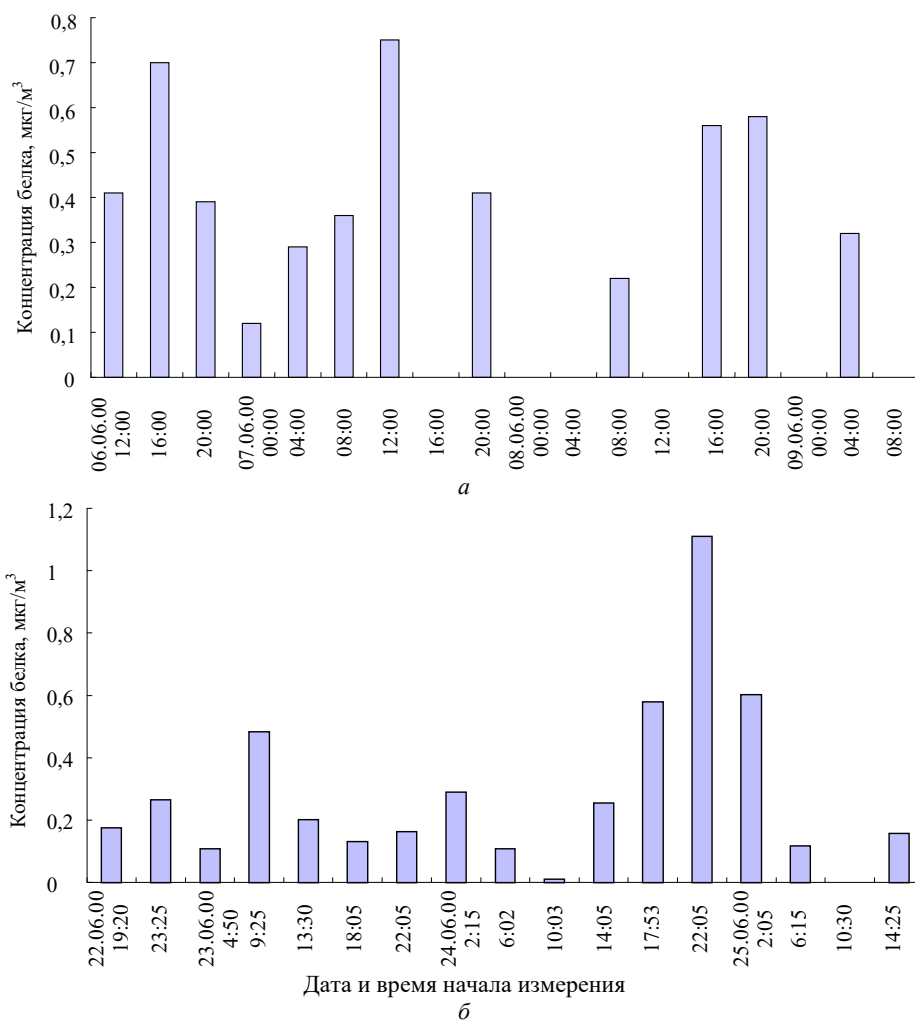


Рис. 4. Динамика изменения концентрации суммарного белка у поверхности земли: а – площадка ГНЦ ВБ «Вектор»; б – площадка ИХКиГ СО РАН

Такие профили концентрации атмосферной примеси должны наблюдаться от обширных удаленных плоскостных источников (таких как обширные растительные массивы, водоемы, эрозирующие почвы и т.д.) при условии интенсивного и длительного турбулентного перемешивания. Но и в этом случае на фоне плавно изменяющихся средних значений также должны наблюдаться большие флуктуации концентрации. Приведенные на рис. 3 усредненные по высотам значения концентрации показывают, что второе предположение более вероятно.

Остановимся подробнее на данных за июнь 2000 г. Средняя по высотам концентрация белка не отличается от таковой в зимний период. Это могло бы быть объяснено большими флуктуациями концентрации белка (которого во всех измерениях зафиксировано меньше, чем следовало ожидать), однако наземные измерения, проводившиеся в июне 2000 г., показывают, что на протяжении всего месяца концентрация белка в приземном слое атмосферы была невелика (рис. 4). По-видимому, особенности атмосферной циркуляции на юге Западной Сибири в этом месяце не позволили насыщенным биогенными частицами атмосферным массам достигнуть этого региона.

Для анализа массива данных, аналогичных приведенным на рис. 2, весьма эффективным является корреляционный анализ. Результаты такого анализа даны в таблице, где отмечены коэффициенты корреляции концентрации белка по выборкам, составленным на основании данных, приведенных на рис. 2 (всего в разное время на различных высотах были выполнены 463 измерения). Обращает на себя внимание то, что концентрация имеет значимую корреляцию по высотам (так, среднее значение коэффициента парной корреляции составляет 0,67, при этом с вероятностью 95% это среднее лежит в интервале 0,61 – 0,72), тогда как временные изменения концентрации существенной корреляции не имеют. Отсюда можно сделать вывод о том, что профили концентрации белка в атмосфере в течение года в среднем остаются подобными.

Действительно, критерий Пирсона на уровне значимости 5% не отвергает гипотезу о том, что все парные коэффициенты корреляции данных по высотам принадлежат одной генеральной совокупности с указанным выше средним значением коэффициента. Этот аргумент усиливает гипотезу о том, что профили концентрации атмосферного белка формируются в атмосфере в результате длительного турбулентного перемешивания от про-

тяженных и удаленных источников. Отсутствие же систематических (т.е. одного знака) корреляций концентрации атмосферного белка по месяцам означает то, что в

формировании вертикальных профилей концентрации принимают участие различные и статистически слабо связанные источники аэрозолей.

Коэффициенты корреляции концентраций суммарного белка в атмосфере, рассчитанные по данным, приведенным на рис. 2. Верхняя часть таблицы – по месяцам измерений, нижняя часть таблицы – по высоте измерений.

Дек. '98	Янв. '99	Фев. '99	Март '99	Апр. '99	Май '99	Июнь '99	Июль '99	Авг. '99	Сент. '99	Окт. '99	Ноя. '99	Дек. '99	Янв. '00	Фев. '00	Март '00	Апр. '00	Май '00	Июнь '00	Июль '00	
1,00	0,10		0,18	-0,17	0,11	-0,50	0,16	-0,41	0,39	-0,13	0,24	-0,24	0,21	0,32	0,12	-0,22		-0,12	0,30	Дек. '98
	1,00		-0,27	0,45	-0,68	-0,05	0,02	0,50	0,16	-0,32	0,99	-0,19	0,25	0,83	-0,38	-0,52		0,15	0,83	Янв. '99
																				Февр.'99
			1,00	-0,61	0,43	0,01	-0,04	-0,48	-0,59	0,47	0,18	0,59	0,23	-0,03	0,83	0,04		0,30	-0,02	Март '99
				1,00	-0,49	-0,58	0,54	0,50	-0,25	0,01	-0,48	0,04	-0,37	0,43	-0,22	-0,50		-0,63	0,28	Апр. '99
					1,00	-0,35	-0,28	-0,66	-0,21	0,43	-0,65	0,28	-0,65	-0,47	0,62	0,52		-0,47	-0,29	Май '99
						1,00	-0,49	0,19	0,27	-0,53	0,04	-0,12	0,35	-0,20	-0,43	0,51		0,52	-0,23	Июнь '99
							1,00	0,67	-0,27	0,14	0,07	0,40	0,18	-0,07	0,01	-0,72		0,34	-0,17	Июль '99
								1,00	0,12	-0,34	0,39	0,08	0,15	0,08	-0,56	-0,56		0,54	0,08	Авг. '99
									1,00	-0,53	0,09	-0,77	0,15	-0,15	-0,74	-0,03		0,16	-0,08	Сент. '99
	Высота, м									1,00	-0,29	0,10	-0,11	-0,24	0,46	-0,22		-0,31	-0,28	Окт. '99
	500	1,00									1,00	-0,02	0,63	0,84	-0,15	-0,56		0,57	0,83	Ноя. '99
	1000	0,51	1,00									1,00	-0,21	0,05	0,74	0,07		0,17	0,09	Дек. '99
	1500	0,68	0,34	1,00									1,00	0,21	-0,17	-0,46		0,68	0,00	Янв.'00
	2000	0,54	0,67	0,35	1,00									1,00	0,06	-0,29		-0,10	0,95	Февр.'00
	3000	0,75	0,46	0,73	0,60	1,00									1,00	0,23		-0,16	0,09	Март '00
	4000	0,74	0,51	0,70	0,51	0,90	1,00									1,00		-0,37	-0,19	Апр. '00
	5500	0,55	0,39	0,86	0,30	0,70	0,81	1,00												Май '00
	7000	0,86	0,49	0,89	0,45	0,80	0,83	0,83	1,00									1,00	-0,14	Июнь '00
		500	1000	1500	2000	3000	4000	5500	7000	Высота, м									1,00	Июль '00

Приведенная гипотеза подтверждается проведенными численными оценками. Были рассчитаны обратные траектории движения воздушных масс, из которых в точке измерения осуществлялся отбор проб. Расчет проведен с помощью полусферной модели в системе координат, следящей за рельефом поверхности Земли. Решалась сопряженная с прямой обратная задача распространения в обратном времени на 30 сут. Алгоритм расчетов построен на комбинации лагранжевого подхода с методом Монте-Карло. Данные Reanalyses NCEP/NCAR были использованы для восстановления пространственно-временной структуры циркуляции атмосферы с дискретностью 30 мин.

Особенностью рассчитанных траекторий является то, что воздушные массы, собравшиеся в точке пробоотбора, имеют различную предысторию: в процессе своего движения они находились на различных высотах, над различными участками поверхности (зачастую даже над различными континентами и океанами), и только по мере приближения к точке пробоотбора траектории перемешиваются и сходятся в одну точку. Следовательно, в точку пробоотбора действительно могут попасть аэрозольные частицы, поступающие в атмосферу из различных источников. Поскольку частицы микронного размера могут находиться в атмосфере довольно долго [10], они вполне могли достигнуть точки пробоотбора вместе с воздушными массами. Обратим внимание на то, что в процессе движения воздушные массы переходят с одной высоты на другую, могут касаться поверхности (где, вероятно, и происходит обогащение воздушных масс биоаэрозолями), в определенных местах происходит их интенсивное перемешивание (для каждой из обратных траекторий эти места различны), после чего такие массы и достигают точки измерения.

В качестве примера приведем осредненные по ансамблю всех лагранжевых траекторий данные для измерения, выполненного в точке с координатами 54,23° с.ш., 82,09° в.д., на высоте, соответствующей давлению

700 мбар (примерно 3 км), рис. 5. Изолинии на этом рисунке соответствуют уровням вероятности того, что аэрозольная частица, зафиксированная при пробоотборе, стартовала с данной точки поверхности Земли (иными словами, на приведенной иллюстрации учтены только те траектории движения воздушных масс, которые заканчиваются в обратном времени на поверхности Земли). В частности, из рис. 5 видно, что наиболее вероятно в момент отбора проб можно было обнаружить частицы из Северо-Западного Казахстана.

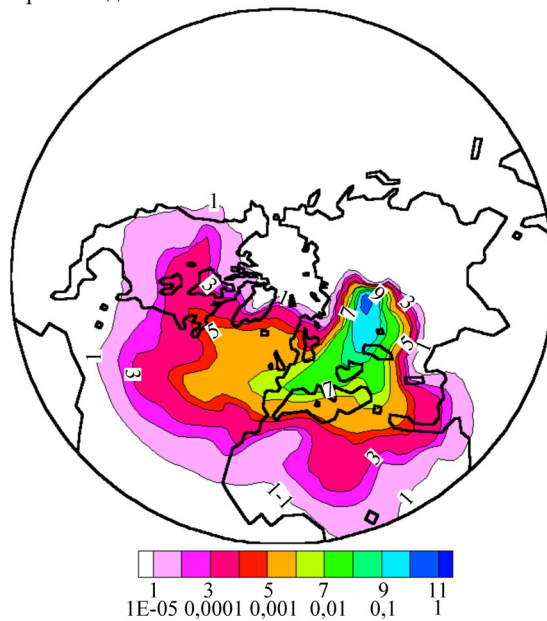


Рис. 5. Распределение вероятности для аэрозольных частиц, стартовавших из различных точек на поверхности Земли, достиг точки проведения пробоотбора в районе Новосибирска на высоте 3 км 31.10.1998

На основании приведенных результатов и их краткого обсуждения можно сделать следующие выводы.

Впервые начато систематическое изучение белковой компоненты атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири; получены предварительные данные о годовом цикле изменения концентрации атмосферного белка. Данные по измеренным концентрациям биогенной компоненты атмосферного аэрозоля хорошо согласуются с измерениями в других регионах [11–16].

Предварительный анализ данных показывает, что белковая компонента атмосферных аэрозолей на юге Западной Сибири формируется за счет наличия ряда независимых друг от друга и сильно удаленных от места наблюдения источников, в том числе расположенных в Среднеазиатском регионе.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 00-05-72014.

1. Анкилов А.Н., Бакланов А.М., Бородулин А.И., Буряк Г.А., Малышкин С.Б., Олькин С.Е., Пьянков О.В., Пьянкова О.Г., Сафатов А.С., Сергеев А.Н. Оценка биологической компоненты атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12. № 6. С. 507–511.
2. Андреева И.С., Белан Б.Д., Бородулин А.И., Буряк Г.А., Марченко Ю.В., Олькин С.Е., Панченко М.В., Петрищенко В.А., Пьянков О.В., Резникова И.К., Сафатов А.С., Сергеев А.Н., Степанова Е.В. Изучение изменчивости биогенной компоненты атмосферного аэрозоля над лесными массивами Западной Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2000. Т. 13. № 6–7. С. 639–643.
3. Жизнь микробов в экстремальных условиях / Под ред. Д. Кашнера. М.: Мир, 1981. 519 с.

A.N. Ankilov, A.M. Baklanov, B.D. Belan, A.I. Borodulin, G.A. Buryak, A.L. Vlasenko, Yu.V. Marchenko, S.E. Olkin, M.V. Panchenko, V.V. Penenko, O.V. Pyankov, I.K. Reznikova, A.S. Safatov, A.N. Sergeev, E.A. Tsvetova. Annual changes in protein concentration of biogenic component of atmospheric aerosol in the South of Western Siberia

Monitoring of biogenic component of atmospheric aerosol in the South of Western Siberia was started in late 1998. It showed pronounced seasonal variance of total protein content of atmospheric aerosol. Annual changes in total protein concentration had high level of correlation at various altitudes but no time-correlation was observed. Analysis of calculated backward trajectories showed that protein component of atmospheric aerosol sampled at the measuring point was formed in independent remote sources.

4. Gregory P.H. Microbiology of Atmosphere. London: Leonard Hill, 1961. 251 p.
5. 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.
6. Bovallius A., Bucht B., Roffey R., Anas P. Three-year investigation of the natural airborne bacterial flora at four localities in Sweden // Appl. Environ. Microbiol. 1978. V. 35. № 5. P. 847–852.
7. 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.
8. Cox C.S. The Aerobiological Pathway of Microorganisms. Chichester e.o.: John Wiley & Sons, 1987. 273 p.
9. Griffiths W.D., DeCosemo G.A.L. The assessment of bioaerosols: A critical review // J. Aerosol Sci. 1994. V. 25. № 8. P. 1425–1458.
10. Practical Protein Chemistry: A Handbook / Ed. A. Darbe. Chichester e.o.: John Wiley & Sons, 1986. P. 297–298.
11. Аэрозоль и климат / Под ред. К.Я. Кондратьева. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 444 с.
12. Artaxo P., Storms H., Bruynseels F., Van Grieken R., Maenhaut W. Composition and sources of aerosols from the Amazon basin // J. Geophys. Res. D. 1988. V. 93. № 2. P. 1605–1615.
13. Artaxo P., Maenhaut W., Storms H., Van Grieken R. Aerosol characteristics and sources for the Amazon basin during the wet season // J. Geophys. Res. D. 1990. V. 95. № 10. P. 16971–16985.
14. Matthias-Maser S., Jaenicke R. Estimation of atmospheric bioaerosol particles with radii > 0.2 μm // J. Aerosol Sci. 1994. V. 25. № 8. P. 1605–1613.
15. 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.
16. Matthias-Maser S., Obolkin V., Khodzer T., Jaenicke R. Seasonal variation of primary biological aerosol particles in the remote continental region of Lake Baikal/Siberia // Atmos. Environ. 2000. V. 34. № 22. P. 3805–3811.