

А.С. Сафатов¹, И.С. Андреева¹, А.Н. Анкилов², А.М. Бакланов²,
Б.Д. Белан³, А.И. Бородулин¹, Г.А. Буряк¹, Н.А. Иванова²,
К.П. Куценогий², В.И. Макаров², В.В. Марченко¹, Ю.В. Марченко¹,
С.Е. Олькин¹, М.В. Панченко³, В.А. Петрищенко¹, О.В. Пьянков¹,
И.К. Резникова¹, А.Н. Сергеев¹

Доля биогенной компоненты в атмосферном аэрозоле на юге Западной Сибири

¹ГНЦ ВБ «Вектор», Кольцово Новосибирской обл.

²Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск

³Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 28.11.2002 г.

На основании результатов наземного и высотного мониторинга атмосферы получены данные о доле биогенной компоненты в массе атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири. Обнаружено, что в приземном слое атмосферы доля суммарного белка не превышает примерно 10% массы всего аэрозоля. На высотах от 500 до 7000 м содержание суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов в атмосфере остается постоянным. Следовательно, доля биогенной компоненты атмосферного аэрозоля возрастает с высотой. С помощью многоступенчатого импактора низкого давления получены предварительные данные о распределении суммарного белка по различным размерным фракциям атмосферного аэрозоля.

Введение

Комплексное исследование биогенной компоненты атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири проводится нами с 1998 г. В частности, было показано, что в приземном слое атмосферы и на высотах до 7000 м присутствуют заметное количество суммарного белка и большое разнообразие жизнеспособных микроорганизмов [1–3]. Однако вопрос о доле биогенной компоненты в атмосферном аэрозоле нами до сих пор не рассматривался. Более того, в литературе опубликованы только данные о представительстве бактерий, проявляемых на одной питательной среде, в различных размерных фракциях атмосферного аэрозоля [4]. Информация о представительстве в аэрозольных частицах различного размера суммарного белка (вклад в который дают белковые молекулы и жизнеспособные микроорганизмы) также отсутствует.

В данной статье проанализированы полученные нами результаты о концентрации суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов. Рассматриваются доля, которую составляет биогенная компонента в общей массе атмосферного аэрозоля, и ее распределение в аэрозольных частицах различного размера.

Материалы и методы

Отбор высотных проб проводился в последней декаде каждого месяца с помощью лаборатории «Оптик-Э», смонтированной на базе самолета АН-30.

Самолет в дневное время суток последовательно пролетал над лесом на высотах 7000, 5500, 4000, 3000, 2000, 1500, 1000 и 500 м. Пробы воздуха отбирались на фильтры типа АФА-ХА с расходом примерно 250 л/мин и импинджеры с расходом 50 л/мин. Наземные пробы в районе пос. Ключи в окрестностях Новосибирского академгородка отбирались круглосуточно в течение 1 мес в различные сезоны на такие же импинджеры и фильтры с расходом 50 л/мин. Кроме того, в течение 1 сут в середине месяца дополнительно проводилось по четыре отбора проб на площадке ГНЦ ВБ «Вектор» для выявления суточного хода измеряемых величин. Для анализа распределения суммарного белка в различных размерных фракциях аэрозольных частиц осуществлялся отбор на пятиступенчатый импактор пониженного давления [5].

Содержание суммарного белка анализировалось в лабораторных условиях одним из двух методов. Во-первых, по методу Бредфорда [6], чувствительность которого составляла 0,1 мкг/мл, а погрешность измерений концентрации не превышала 30%. Во-вторых, флуоресцентным методом с использованием красителя, описанного в [7], чувствительность этого метода составляла примерно 0,01 мкг/мл, погрешность измерений концентрации – менее 20%.

Для обнаружения жизнеспособных микроорганизмов взятые пробы высевались на чашки Петри, содержащие следующие агаризованные питательные среды: LB [8] и обедненную среду LB (разбавление 1:10) – для выявления сапрофитных бактерий;

крахмало-аммиачную среду [9] – актиномицетов; почвенный агар; среду Сабуро [9] – для определения низших грибов и дрожжей. При необходимости готовились последовательные разведения проб. Высевы инкубировались в термостате при температуре 30 °С в течение 3–14 сут. Морфологические особенности обнаруженных микроорганизмов исследовались визуально и с помощью световой микроскопии. Для этого готовились фиксированные окрашенные по Граму препараты клеток и прижизненные препараты суспензий клеток, наблюдавшиеся методом фазового контраста. Таксономическая принадлежность выявленных микроорганизмов определялась с точностью до рода [10, 11].

Расчет числа жизнеспособных микроорганизмов в пробах проводился по стандартным методикам [12], при этом количество микроорганизмов усреднялось по 2–3 параллелям рассеянных на 4–5 различных средах проб. В группу, обозначенную нами «неспороносные бактерии», входят самые разные микроорганизмы, не образующие эндоспоры: грамвариабельные и грамположительные коккобациллы, разнообразные неспорообразующие палочки, окрашивающиеся грамотрицательно, среди них: псевдомонасы, бактерии кишечной группы и др. В эту выделенную нами условную группу входят также бактерии, клетки которых имеют неправильную форму, например микобактерии, нокардии. В различных пробах количество и сочетание клеток микроорганизмов были самыми разнообразными.

Результаты и обсуждение

Как уже отмечалось по результатам более чем трехлетних самолетных измерений [12], существуют в среднем не изменяющиеся на высотах от 500 до 7000 м профили концентрации суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов, амплитуда которых претерпевает сезонное изменение (рис. 1 и 2).

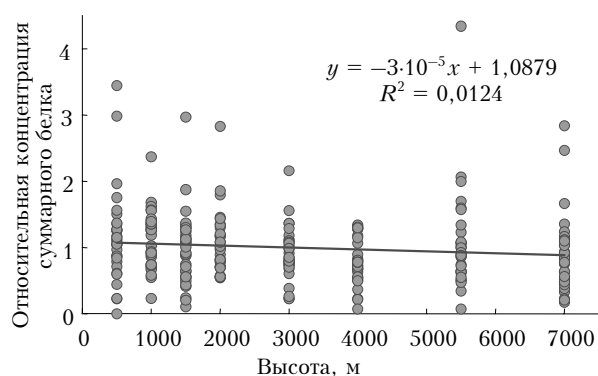


Рис. 1. Усреднение за три года наблюдений вертикального профиля концентрации суммарного белка в атмосферном аэрозоле на высотах 500 – 7000 м на юге Западной Сибири

Этот факт позволяет рассматривать не индивидуальные данные для каждого полета по всем высотам, а только их усредненные значения (рис. 3). В приведенных зависимостях просматриваются по-

вторяющиеся из года в год изменения концентраций суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов в атмосфере. Нормирование величин на их среднегодовые значения для каждого года делает эти зависимости более наглядными.

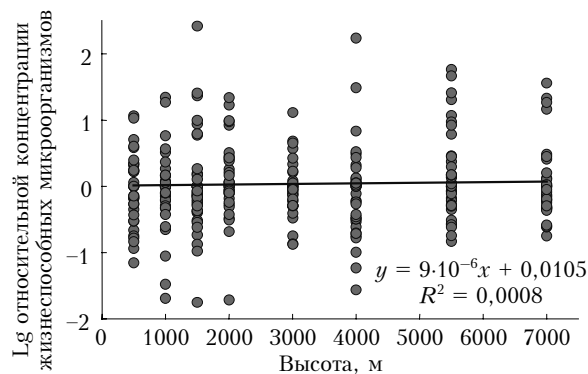


Рис. 2. Усреднение за три года наблюдений вертикального профиля концентрации жизнеспособных микроорганизмов в атмосферном аэрозоле на высотах 500–7000 м на юге Западной Сибири

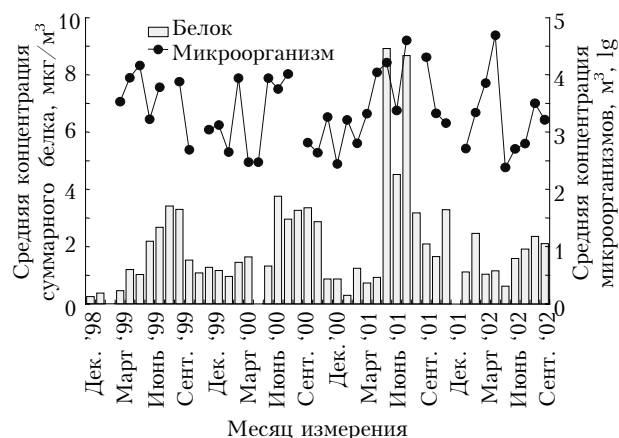


Рис. 3. Динамика изменения усредненных по высотам 500–7000 м концентраций суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов в атмосфере на юге Западной Сибири

Усредненные за три года измерения изменения концентраций суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов в атмосфере приведены на рис. 4 и 5.

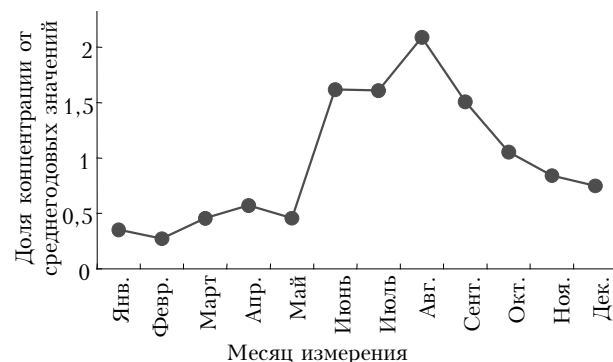


Рис. 4. Годовое изменение содержания суммарного белка в атмосферном аэрозоле на высотах 500–7000 м на юге Западной Сибири

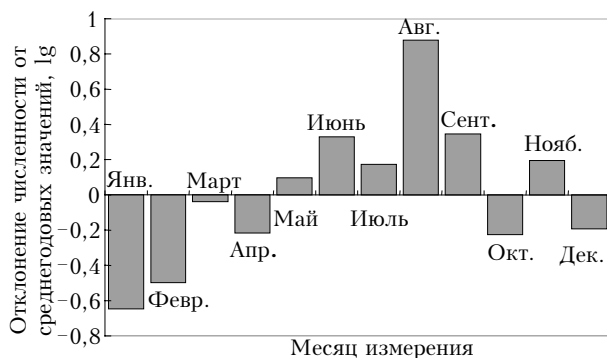


Рис. 5. Годовое изменение содержания жизнеспособных микроорганизмов в атмосферном аэрозоле на высотах 500–7000 м на юге Западной Сибири

Таким образом, проведенные наблюдения надежно доказывают наличие годовой динамики изменения концентраций суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов в атмосфере на юге Западной Сибири.

Остановимся более подробно на обнаруженной зависимости концентраций суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов в атмосфере от высоты. В работе [13] нами было отмечено, что такие профили концентрации формируются в атмосфере в результате длительного турбулентного перемешивания при распространении примеси от удаленных источников. Отсутствие систематических корреляций концентрации атмосферного белка по месяцам означает то, что в формировании вертикальных профилей принимают участие различные и не зависящие друг от друга источники (растительные массивы, водоемы, эрозирующая почва и т.д.). Интересен тот факт, что в зависимости от высоты общее количество аэрозольных частиц в атмосфере падает [14], а доля биоаэрозолей растет. Это может быть только в том случае, если основные и самые мощные источники биоаэрозолей находятся очень далеко от точки наблюдений. Анализ этих результатов более подробно рассмотрен в работах [1–3].

Методика проводимых нами наземных измерений позволяет оценить долю биогенной компоненты в общей массе атмосферного аэрозоля. Типичное

изменение среднесуточной массовой концентрации частиц и доли суммарного белка показано на рис. 6.



Рис. 6. Динамика изменения массовой концентрации аэрозольных частиц и суммарного белка в атмосфере вблизи Новосибирска в апреле–мае 2002 г.

Средние величины полной массы частиц атмосферного аэрозоля, массы суммарного белка в этих частицах и доли, которые этот белок составляет от полной массы аэрозоля для различных сезонов 2001–2002 гг., приведены в таблице. В ежесуточных измерениях эта доля не превышает 5%.

Полученные данные также показывают, что вклад жизнеспособных микроорганизмов в массу суммарного белка относительно невелик. Доля таких микроорганизмов составляет 0,02–10,6% [15]. Таким образом, оцененный нами вклад микроорганизмов в наблюдаемые концентрации суммарного белка в атмосфере должен считаться вполне представительным. В феврале–марте и июне 2002 г. были получены данные о том, в частицах каких размеров находится суммарный белок в районе ИХКиГ СО РАН и Киреевска, Томская обл. (рис. 7 и 8).

В девяти проведенных экспериментах было обнаружено, что наибольшее количество белковых молекул находится во фракции частиц с аэродинамическим диаметром от 0,16 до 0,4 мкм. В то же время доля белка в массе частиц максимальна для фракции 2,1–10 мкм и составляет примерно 0,3 %.

Усредненные за период массы частиц атмосферного аэрозоля, массы суммарного белка в них и доли, которые белок составляет от полной массы частиц*

Дата проведения измерений	Полная масса частиц, мкг/м ³	Масса суммарного белка в частицах, мкг/м ³	Доля суммарного белка в массе частиц, %
Январь–февраль 2001 г.	26,98 ± 10,87	0,007 ± 0,004	0,003 ± 0,024
Апрель–май 2001 г.	61,47 ± 37,87	0,096 ± 0,10	0,16 ± 0,11
Июнь–июль 2001 г.	34,24 ± 12,47	0,24 ± 0,14	0,76 ± 0,40
Сентябрь–октябрь 2001 г.	31,05 ± 16,58	0,085 ± 0,009	0,24 ± 0,26
Январь–февраль 2002 г.	21,68 ± 5,39	0,075 ± 0,043	0,36 ± 0,21
Апрель–май 2002 г.	52,01 ± 38,26	0,56 ± 0,59	1,21 ± 0,83
Июнь–июль 2002 г.	25,86 ± 10,06	0,31 ± 0,09	1,30 ± 0,60
Сентябрь–октябрь 2002 г.	37,79 ± 19,13	0,29 ± 0,14	0,78 ± 0,31

* Приведены средние значения ± стандартные отклонения.

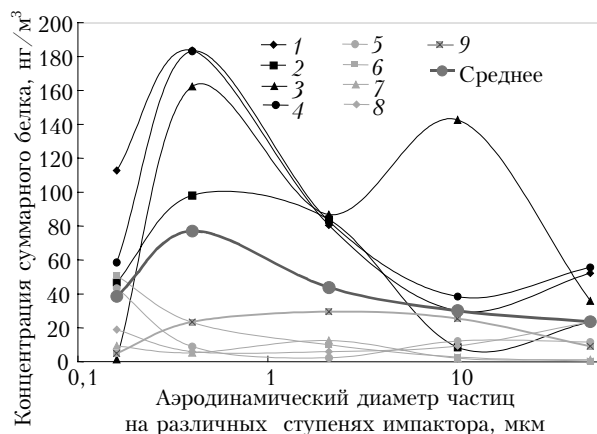


Рис. 7. Распределение суммарного белка по фракциям атмосферного аэрозоля в феврале–марте 2002 г. в приземном слое на площадке ИХКиГ СО РАН, г. Новосибирск (кривые 1–4) и июне 2002 г. в Киреевске (кривые 5–9)

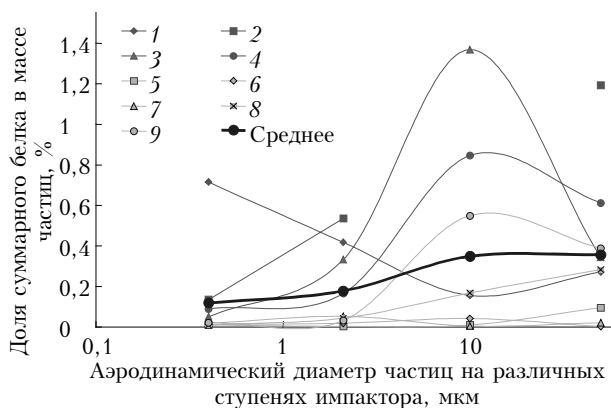


Рис. 8. Распределение доли суммарного белка в массе частиц различных фракций атмосферного аэрозоля в феврале – марте 2002 г. в приземном слое на площадке ИХКиГ СО РАН, г. Новосибирск (кривые 1–4) и июне 2002 г. в Киреевске (кривые 5–9)

Эти данные носят предварительный характер, поскольку они статистически недостаточно надежны. Тем не менее они неплохо согласуются с результатами, приведенными в работе [4], в которой было показано, что наиболее обогащена микроорганизмами (которые всегда содержат заметное количество белка) фракция атмосферного аэрозоля диаметром более 2 мкм.

Заметим, что для механического разрушения отмершей биогенной материи (остатки частей растений, животных, отдельных их клеток) до очень мелких размеров необходимы довольно значительные энергетические затраты. Поэтому естественно то, что наиболее обогащена биогенными компонентами фракция аэрозоля диаметром более 0,1 мкм. Приведенные выше рассуждения являются косвенным подтверждением достоверности результатов, полученных с помощью импактора низкого давления.

В заключение остановимся еще на одном интересном аспекте, косвенно подтверждающем гипотезу о преобладающей роли мощных удаленных источников в формировании биогенной компоненты атмосферных аэрозолей на юге Западной Сибири.

Более чем годовые наблюдения показывают, что значения концентраций суммарного белка, измеренные на уровне земли, как правило, меньше таковых на высотах от 500 до 7000 м (рис. 9).

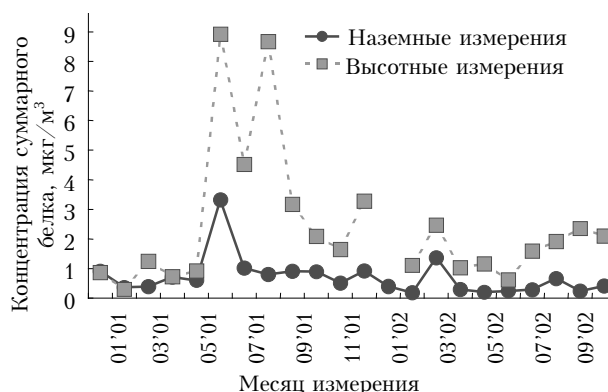


Рис. 9. Сопоставление динамик изменения наземной и средних по высотам 500–7000 м концентраций суммарного белка в атмосферном аэрозоле на юге Западной Сибири

Для жизнеспособных микроорганизмов эти величины примерно сопоставимы (рис. 10). Такая ситуация может иметь место только в том случае, когда биогенная компонента «поступает сверху» в изученный слой атмосферы, что, учитывая ее заметную концентрацию, может быть обусловлено только мощными удаленными источниками, такими как перечисленные выше, – растительность, почва, водоемы и др.

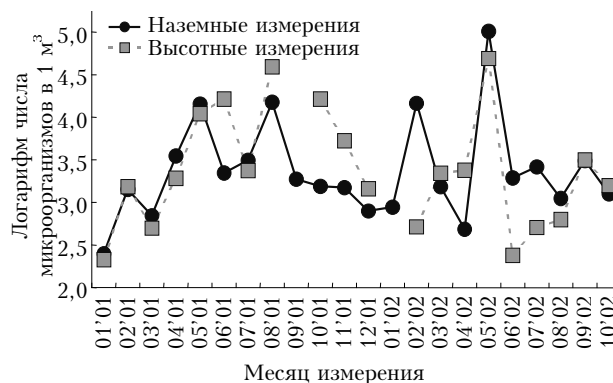


Рис. 10. Сопоставление динамик изменения наземной и средних по высотам 500–7000 м концентраций жизнеспособных микроорганизмов в атмосферном аэрозоле на юге Западной Сибири

Если учитывать достаточно большое время, необходимое на перенос аэрозолей от удаленных источников к точке наблюдений, то становится понятным наблюдаемое нами отличие во временном ходе концентраций суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов от типичной сезонной активности «живой» природы в Северном полушарии.

Таким образом, получены данные о концентрациях суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов с точки зрения доли, которую составляет биогенная компонента в общей массе атмосферного аэрозоля, и о том, как она распределена по размерам аэрозольных частиц. Получена

и проанализирована весьма ценная информация о составе атмосферного аэрозоля, его возможных источниках и их расположении.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ в рамках проекта № 00-05-72014.

1. 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 атмосф. и океана. 2000. Т. 13. № 6–7. С. 639–643.
2. Андреева И.С., Белан Б.Д., Бородулин А.И., Буряк Г.А., Жуков В.А., Панченко М.В., Пененко М.В., Петрищенко В.А., Сафатов А.С. Изучение изменчивости содержания живых микроорганизмов в атмосферном аэрозоле на юге Западной Сибири // Докл. РАН. 2001. Т. 381. № 2. С. 278–282.
3. Анкилов А.Н., Бакланов А.М., Белан Б.Д., Бородулин А.И., Буряк Г.А., Власенко А.Л., Марченко Ю.В., Олькин С.Е., Панченко М.В., Пененко М.В., Пьянков О.В., Резникова И.К., Сафатов А.С., Сергеев А.Н., Цветова Е.А. Годовое изменение концентрации белка в биогенной компоненте атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2001. Т. 14. № 6–7. С. 520–525.
4. Tong Y., Lighthouse B. The annual bacterial particle concentration and size distribution in the ambient atmosphere in a rural area of the Willamette Valley, Oregon // Aerosol Sci. Technol. 2000. V. 32. № 5. P. 393–403.
5. Практическая химия белка / Под ред. А. Дарбе. М.: Мир, 1989. С. 297–298.
6. You W.W., Haugland R.P., Ryan D.K., Haugland R.P. 3-(4-Carboxybenzoyl)quino-line-2-carboxaldehyde, a reagent with broad dynamic range for the assay of proteins and lipoproteins in solution // Annal. Biochem. 1997. V. 244. № 2. P. 277–282.
7. Миллер Дж. Эксперименты в молекулярной генетике. М.: Мир, 1976. 435 с.
8. Сэви Е. Методы почвенной микробиологии. М.: Колос, 1983. 295 с.
9. *The Prokaryotes: A Handbook on Habitats, Isolation, and Identification of Bacteria* / Ed. M.P. Starr, H. Stolp, H.G. Truper, A. Balows, H.G. Schlegel. Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer-Verlag, 1981. 2596 p.
10. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982. 550 с.
11. Ашмарин И.П., Воробьев А.А. Статистические методы в микробиологических исследованиях. Л.: Гос. изд. мед. лит., 1962. 180 с.
12. Андреева И.С., Бородулин А.И., Буряк Г.А., Жуков В.А., Зыков С.В., Марченко Ю.В., Марченко В.В., Олькин С.Е., Петрищенко В.А., Пьянков О.В., Резникова И.К., Ретин В.Е., Сафатов А.С., Сергеев А.Н., Рапуца В.Ф., Пененко В.В., Цветова Е.А., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Панченко М.В., Анкилов А.Н., Бакланов А.М., Власенко А.Л., Куценогий К.П., Макаров В.И., Чуркина Т.В. Биогенная компонента атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири // Химия в интересах устойчивого развития. 2002. Т. 10. № 5. С. 547–561.
13. Ankilov A.N., Baklanov A.M., Belan B.D., Brodulin A.I., Buryak G.A., Marchenko Yu.V., Ol'kin S.E., Panchenko M.V., Penenko V.V., Petrishchenko V.A., P'yankov O.V., Reznikova I.K., Safatov A.S., Sergeev A.N., Tsvetova E.A., Vlasenko A.L. The relation between the changes observed in the concentration of the summary protein in the atmosphere of the South of Western Siberia and its possible sources // J. Aerosol Sci. 2001. V. 33. Suppl. 1. P. S135–S136.
14. Панченко М.В., Полькин В.В. Представление о микроструктуре тропосферного аэрозоля Сибири на основе измерений фотоэлектрическим счетчиком // Оптика атмосф. и океана. 2001. Т. 14. № 6–7. С. 526–537.
15. Lighthouse B. The ecology of bacteria in the alfresco atmosphere // FEMS Microbiol. Ecology. 1997. V. 23. № 4. P. 263–274.

A.S. Safatov, I.S. Andreeva, A.N. Ankilov, A.M. Baklanov, B.D. Belan, A.I. Brodulin, G.A. Buryak, N.A. Ivanova, K.P. Koutsenogii, V.I. Makarov, V.V. Marchenko, Yu.V. Marchenko, S.E. Ol'kin, M.V. Panchenko, V.A. Petrishchenko, O.V. P'yankov, I.K. Reznikova, A.N. Sergeev. **Fraction of the biogenic component in atmospheric aerosol in Southwestern Siberia.**

The data on the fraction of the biogenic component in atmospheric aerosol in Southwestern Siberia were obtained using ground-based and high-altitude monitoring. It was found that the fraction of total protein does not exceed approximately 10% of total aerosol mass in the surface layer of the atmosphere. Total protein and culturable microorganisms concentrations are constant in the atmosphere at the altitudes of 500–7000 m. So the fraction of the biogenic component of atmospheric aerosol increases with altitude. Preliminary results on total protein distribution over different atmospheric aerosol particle size ranges were obtained using low-pressure multistage impactor.