

А.И. Бородулин *, А.С. Сафатов*, В.В. Марченко*, А.Н. Шабанов*,
Б.Д. Белан**, М.В. Панченко**

Высотная и сезонная изменчивость концентрации биогенной компоненты тропосферного аэрозоля юга Западной Сибири

*ГНЦ ВБ «Вектор», Кольцово Новосибирской обл.

**Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 28.11.2002 г.

ГНЦ ВБ «Вектор» и ИОА СО РАН ведут систематическое изучение биогенной компоненты тропосферного аэрозоля юга Западной Сибири. Биогенная компонента характеризуется нами двумя ее наиболее важными составляющими – суммарным белком и жизнеспособными микроорганизмами. В статье рассматриваются результаты анализа и обобщения накопленных за период наблюдений экспериментальных данных. Получены регрессионные зависимости концентрации суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов от месяца наблюдений и высоты над подстилающей поверхностью.

С декабря 1998 г. по настоящее время Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» и Институт оптики атмосферы СО РАН ведут систематическое изучение биогенной компоненты тропосферного аэрозоля юга Западной Сибири. «Биогенную компоненту» мы характеризуем двумя наиболее важными ее составляющими: суммарным белком, как основой всего живого, и жизнеспособными микроорганизмами. Методические вопросы, результаты проведенных исследований и попытки обобщения полученных данных представлены в [1–3]. Основные особенности обнаруженных нами полей концентрации биогенной компоненты тропосферного аэрозоля можно кратко суммировать в виде следующих тезисов:

– ансамбль данных наблюдений имеет значительный разброс;

– результаты наблюдений показывают, что концентрация суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов имеет достаточно четко выраженный годовой цикл изменения;

– отсутствует четко выраженная зависимость высотных профилей концентрации суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов от высоты наблюдений.

Накопленный массив экспериментальной информации о концентрации биогенной компоненты тропосферного аэрозоля юга Западной Сибири может быть использован для различных практических приложений. Он может оказаться полезным для решения прикладных задач глобальной аэрозольной климатологии, задач оптики атмосферы, медико-экологических проблем и др. Такая информация, особенно на этапе накопления и обобщения данных, представляет интерес с точки зрения фундаментальных наук. В соответствии с вышесказанным в настоящей статье предпринимается попытка

обобщения полученных за весь период наблюдений экспериментальных данных. Результаты представляются в виде достаточно простых регрессионных зависимостей. В общем случае под такими зависимостями подразумевается набор формул, которые позволяют на основании ансамбля проведенных экспериментов оценить нормированные значения концентрации суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов: 1) для заданной высоты; 2) для заданного месяца года; 3) для заданного месяца года и высоты. Рассматриваемый в работе ансамбль концентраций суммарного белка представлен 245 экспериментами, а ансамбль концентраций жизнеспособных микроорганизмов 197 экспериментами.

Обратимся к анализу высотных профилей концентраций суммарного белка. На рис. 1,а точками отмечены значения концентрации суммарного белка C_p в зависимости от высоты полета h . Они нормированы на средние по ансамблю наблюдений на высоте h значения концентрации суммарного белка C_{ph} . Эта величина обозначена как $\varphi_p = C_p/C_{ph}$. Вертикальные отрезки соответствуют стандартному отклонению нормированных значений концентраций белковых молекул $\sigma_{\varphi p}$. Прямая линия на рис. 1 проведена по методу наименьших квадратов. Мы видим, что найденные усредненные профили концентрации суммарного белка незначительно убывают с увеличением высоты наблюдений. Рис. 1,б обобщает информацию о зависимости $\sigma_{\varphi p}$ от высоты. Прямая линия представляет собой регрессию экспериментальных данных. В данном случае наблюдается незначительный рост $\sigma_{\varphi p}$ при увеличении высоты.

Наблюдаемое поведение профилей концентрации суммарного белка проанализировано в [1, 3]. Основной вывод заключается в том, что профили концентрации формируются за счет удаленных

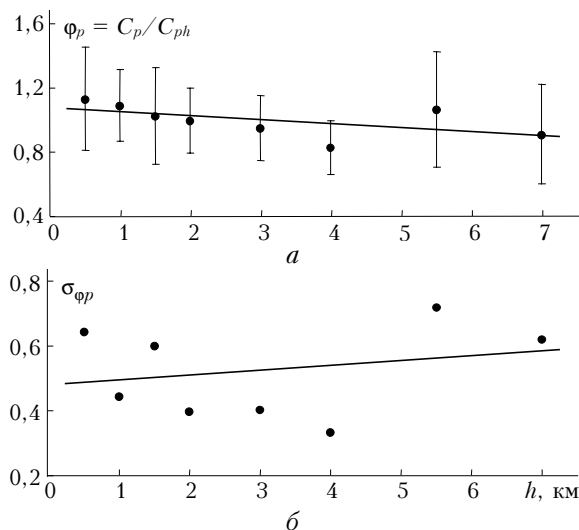


Рис. 1. Зависимость φ_p и σ_{φ_p} от h

и даже очень удаленных источников. Математическое моделирование процесса диффузии атмосферных примесей, при использовании реальных метеорологических данных, показало [4, 5], что наблюдаемые значения концентрации атмосферного белка за время распространения порядка 1 мес могут с вероятностью до десятков процентов быть обусловлены источниками, находящимися в Средней Азии и Казахстане.

Косвенным, но весомым подтверждением этого факта являются весеннее увеличение концентрации белковых молекул в атмосфере и ее осеннее падение. По данным экспериментов рост концентрации белковых молекул на юге Западной Сибири начинается в апреле, а спад концентрации происходит в ноябре. Такой режим соответствует типичному циклу «пробуждения — засыпания» растительного мира Средней Азии и Казахстана и не коррелирует с типичными сроками данного процесса на юге Западной Сибири, где «пробуждение» растительного мира происходит в конце мая — начале июня, а его «засыпание» в конце сентября. Расчеты также показали, что существует достоверная вероятность влияния северных частей Американского и Африканского континентов на наблюдаемые значения концентрации белковых молекул в тропосфере юга Западной Сибири. Сравнительный анализ данных высотных и проводящихся нами параллельно наземных наблюдений показывает, что локальные источники биоаэрозольных примесей атмосферы, по-видимому, не оказывают существенного влияния на характер высотных профилей концентрации. Таким образом, профили концентрации суммарного белка в атмосфере юга Западной Сибири в основном формируются за счет удаленных источников и поэтому очень слабо зависят от высоты наблюдений.

Рассмотрим зависимость усредненной для каждой высоты наблюдений концентрации суммарного белка C_{pm} от номера месяца m . Эти данные приведены на рис. 2, а. Точки представляют ансамбль проведенных наблюдений. Две зачеркнутые на рис. 2 точки, явно выпадающие из всего ансамбля, были

отброшены. Высота столбцов гистограммы определена методом наименьших квадратов. Мы наблюдаем четко просматривающийся годовой ход концентрации суммарного белка. Действительно, заметный подъем концентрации суммарного белка наступает в апреле, а соответствующий спад проявляется в ноябре.

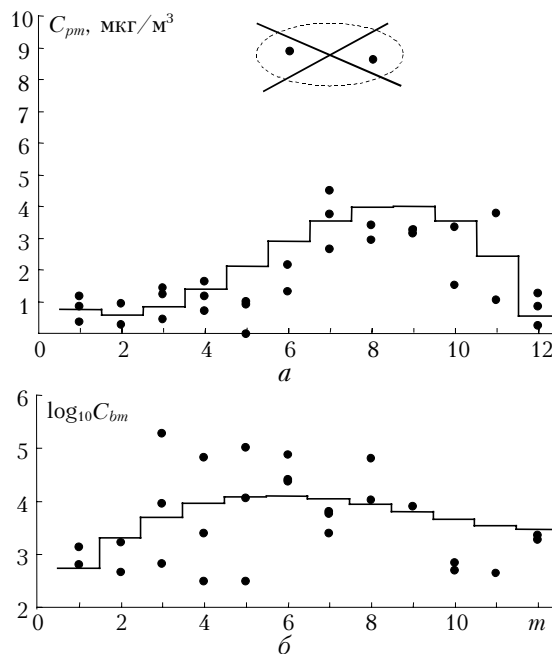


Рис. 2. Зависимость C_{pm} и $\log_{10} C_{bm}$ от m

Сказанное выше позволяет предложить регрессионную зависимость нормированной концентрации суммарного белка тропосферного аэрозоля юга Западной Сибири от m и h , которая приведена в табл. 1.

Таблица 1
Регрессионные зависимости концентрации суммарного белка в тропосферном аэрозоле юга Западной Сибири от m и h

Зависимость C_{pm} (мкг/м ³) от m :								
$C_{pm} = 1,49 - 1,07m + 0,35m^2 - 0,02m^3$								
Зависимость φ_p от h (км):								
$\varphi_p = C_p / C_{ph} = 1,08 - 2,5 \cdot 10^{-2} h$								
Зависимость стандартного отклонения φ_p от h (км):								
$\sigma_{\varphi_p} = 0,48 + 1,5 \cdot 10^{-2} h$								
h , км	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,5	7,0
C_{ph} , мкг/м ³	1,13	1,10	1,03	1,00	0,95	0,83	1,07	0,91

Дополнительно следует отметить, что вычисление среднегодовых значений обнаруживает наличие тенденции увеличения концентрации суммарного белка в тропосфере. Среднегодовые концентрации суммарного белка составляют 1,7; 2,1 и 3,1 мкг/м³ для 1999, 2000 и 2001 гг. соответственно.

Рассмотрим компоненту тропосферного аэрозоля, содержащую жизнеспособные микроорганизмы. На рис. 3, а точками отмечены значения концентрации жизнеспособных микроорганизмов C_b в зависимости от высоты полета h . Они нормированы на усредненные по ансамблю наблюдений на высоте h значения концентрации жизнеспособных микроорганизмов C_{bh} . Эта величина обозначена как $\varphi_b = C_b / C_{bh}$.

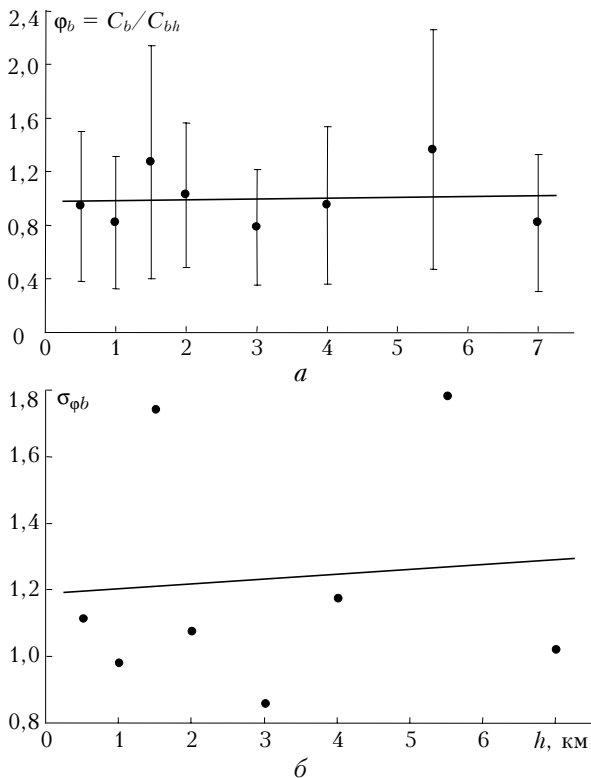


Рис. 3. Зависимость ϕ_b и σ_{ϕ_b} от h

Вертикальные отрезки соответствуют стандартному отклонению нормированных значений концентраций жизнеспособных микроорганизмов σ_{ϕ_b} . Прямая линия на рис. 3 получена по методу наименьших квадратов. Мы видим, что усредненный профиль концентрации жизнеспособных микроорганизмов незначительно возрастает с увеличением высоты наблюдений. Рис. 3, б обобщает информацию о зависимости σ_{ϕ_b} от высоты наблюдений. Прямая линия представляет собой регрессию экспериментальных данных. Мы видим незначительный рост σ_{ϕ_b} при увеличении высоты наблюдений.

Приведенные выше рассуждения о том, что высотные профили концентрации атмосферного белка на юге Западной Сибири формируются за счет удаленных источников и поэтому почти не зависят от высоты наблюдений, также остаются в силе и для высотных профилей концентрации жизнеспособных микроорганизмов.

И наконец, на рис. 2, б дана зависимость усредненного для каждой высоты наблюдений логарифма концентрации жизнеспособных микроорганизмов $\log_{10}C_{bm}$ от номера месяца года m . Точки представляют весь ансамбль проведенных наблюдений. Высота столбцов гистограммы определена методом наименьших квадратов. Мы также наблюдаем характерное годовое изменение концентрации жизнеспособных микроорганизмов. Сказанное позволяет предложить регрессионную зависимость концентрации жизнеспособных микроорганизмов в тропосферном аэрозоле юга Западной Сибири от m и h , которая представлена в табл. 2. Для полноты данных перечислим роды микроорганизмов, которыми представлена данная компонента тропосферного аэрозо-

ля юга Западной Сибири. Таковыми являются бактерии, грибки, актиномицеты, дрожжи, сардины, коккобациллы.

Таблица 2

Регрессионные зависимости концентрации жизнеспособных микроорганизмов в тропосферном аэрозоле юга Западной Сибири от m и h

Зависимость $\log_{10}C_{bm}$ от m :								
$\log_{10}C_{bm} = 1,984 + 0,868m - 0,110m^2 + 0,004m^3$								
Зависимость ϕ_b от h (км):								
$\phi_b = C_b/C_{bh} = 0,98 + 5,77 \cdot 10^{-3}h$								
Зависимость стандартного отклонения величины ϕ_b от h (км): $\sigma_{\phi_b} = 1,19 + 1,42 \cdot 10^{-2}h$								
h , км	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,5	7,0
$\log_{10}C_{bh}$	3,48	4,02	3,36	3,56	3,07	4,11	3,72	4,03

Обратимся к обобщенным зависимостям концентрации суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов от месяца года и высоты, которые были построены на основании имеющегося ансамбля экспериментальных данных. Проводившееся выше обсуждение показывает, что поля концентрации достаточно представить полиномами не выше третьей степени. Регрессионные зависимости концентрации суммарного белка C_p и логарифма концентрации жизнеспособных микроорганизмов $\log_{10}C_b$ от месяца года m и высоты h приведены в табл. 3.

Таблица 3

Обобщенная регрессионная зависимость концентрации суммарного белка и концентрации жизнеспособных микроорганизмов в тропосферном аэрозоле юга Западной Сибири от m и h

Зависимость C_p (мкг/м ³) от m и h (км):	
$C_p = 1,736 - 0,695m - 0,423h + 0,24m^2 + 0,088h^2 + 0,022mh - 0,011mh^2 + 4 \cdot 10^{-3}m^2h - 0,016m^3 - 3 \cdot 10^{-3}h^3$	
Зависимость $\log_{10}C_b$ от m и h (км):	
$\log_{10}C_b = 2,25 + 0,535m - 0,057h - 0,056m^2 - 0,016h^2 + 0,031mh - 10^{-3}mh^2 + 4 \cdot 10^{-3}m^2h - 10^{-3}m^3 - 2 \cdot 10^{-4}h^3$	

На рис. 4 даны графики, дающие представление о зависимости C_p и $\log_{10}C_b$ от месяца года m и высоты h . В табл. 4 приведены значения стандартных отклонений концентрации суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов от приведенной в табл. 3 регрессионной зависимости, усредненные по всему периоду наблюдений. Эти данные дают представление о том, в каких пределах варьируются концентрации тропосферных биоаэрозолей для заданной высоты.

Таким образом, на основании данных экспериментов получены простые регрессионные зависимости, позволяющие делать оценки концентрации суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов в зависимости от месяца года и высоты. Проводимые нами исследования биогенной компоненты тропосферного аэрозоля также дополняются наземными измерениями. В основном они проводятся в пос. Ключи в окрестностях Новосибирского академгородка и на территории ГНЦ ВБ «Вектор». С помощью таких данных можно попытаться оценить вклад в биогенную компоненту атмосферного аэрозоля нашего региона от локальных и удаленных источников.

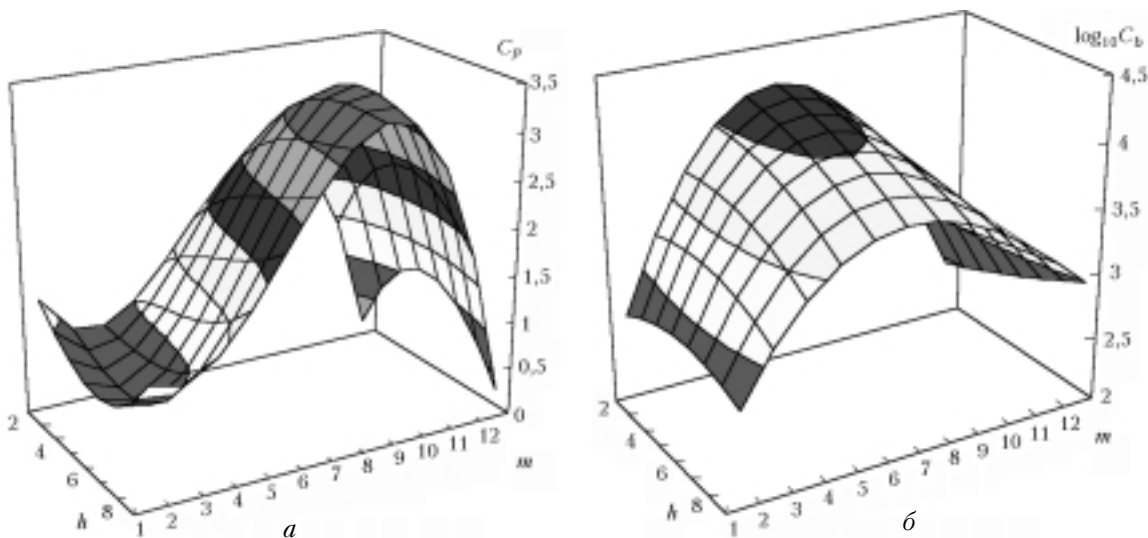


Рис. 4. Зависимости C_p и $\log_{10}C_b$ от m и h

Таблица 4

Стандартные отклонения концентрации суммарного белка и логарифма концентрации жизнеспособных микроорганизмов от приведенной в табл. 3 регрессионной зависимости

Высота h , км							
0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,5	7,0
Стандартное отклонение концентрации суммарного белка, $\mu\text{кг}/\text{м}^3$							
0,74±0,2	0,87±0,2	0,90±0,2	0,81±0,3	0,86±0,2	0,89±0,2	1,0±0,4	0,92±0,1
Стандартное отклонение логарифма концентрации жизнеспособных микроорганизмов							
0,57±0,2	0,64±0,3	0,57±0,1	0,61±0,1	0,48±0,2	0,63±0,2	0,51±0,1	0,59±0,1

Это имеет практический интерес, поскольку концентрации атмосферных примесей при переходе от приземного слоя атмосферы к тропосфере имеют достаточно сложную структуру [6]. Практическое значение также имеют сравнение и анализ результатов наземных и высотных наблюдений.

В заключение авторы выражают благодарность большому коллективу научных и технических сотрудников ГНЦ ВБ «Вектор», ИОА СО РАН, ИХКиГ СО РАН и ИВМиМГ СО РАН, без самоотверженного труда которых по накоплению, обработке и анализу результатов наблюдений не было бы возможности представить данную работу.

1. Белан Б.Д., Бородулин А.И., Марченко Ю.В., Олькин С.Е., Панченко М.В., Пьянков О.В., Сафатов А.С., Буряк Г.А. Изучение изменчивости белковой компоненты атмосферного аэрозоля над лесными массивами юга Западной Сибири // Докл. РАН. 2000. Т. 374. № 6. С. 827–829.
2. Андреева И.С., Белан Б.Д., Бородулин А.И., Буряк Г.А., Жуков В.А., Панченко М.В., Пененко В.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. Андреева И.С., Бородулин А.И., Буряк Г.А., Жуков В.А., Зыков С.В., Марченко В.В., Марченко Ю.В., Олькин С.Е., Петрищенко В.А., Пьянков О.В., Резникова И.К., Ретин В.Е., Сафатов А.С., Сергеев А.Н., Рапута 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., Куценкогий 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.
4. Andreeva I.S., Belan B.D., Borodulin A.I., Buryak G.A., Marchenko Yu.V., Ol'kin S.E., Panchenko M.V., Petrishenko V.A., P'yankov O.V., Reznikova I.K., Safatov A.S., Sergeev A.N., Stepanova E.V. Variability of Biogenic Component of Atmospheric Aerosol Over Forested Areas of Western Siberia // Atmospheric and Oceanic Optics. 2000. V. 13. N 6–7. P. 592–596.
5. Ankilov A.N., Baklanov A.M., Belan B.D., Borodulin A.I., Buryak G.A., Marchenko Yu.V., Ol'kin S.E., Panchenko M.V., Penenko V.V., 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 Vestern Siberia and its Possible Sources // Aerosol Sci. 2001. V. 32. Suppl. 1. P. 135–136.
6. Ивлев Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1982. 368 с.

A.I. Borodulin, A.S. Safatov, V.V. Marchenko, A.N. Shabanov, B.D. Belan, M.V. Panchenko. The altitude and seasonal changeability of the concentration of biogenic component of tropospheric aerosol in Southwestern Siberia.

SRC VB «Vector» and Institute of Atmospheric Optics of SB RAS systematically study the biogenic component of tropospheric aerosol in Southwestern Siberia. The two most important constituents characterizing the biogenic component are total protein and viable microorganisms. The results of analysis and generalization of the experimental data accumulated over the period of observations are considered. Regression relationships between the concentration of total protein and viable microorganisms, as well as the height above the underlying surface and the month of observation have been obtained.