

И.С. Андреева¹, А.И. Бородулин¹, Г.А. Буряк¹, В.В. Коковкин³, С.Е. Олькин¹,
В.А. Петрищенко¹, В.Ф. Рапута², И.К. Резникова¹, А.С. Сафатов¹, Е.В. Степанова¹

Оценка биогенных загрязнений в снежном покрове в окрестности Новосибирска

¹ГНЦ ВБ «Вектор», пос. Кольцово, Новосибирская обл.

²ИВМиМГ СО РАН,

³ИНХ СО РАН, г. Новосибирск

Поступила в редакцию 2.02.2001 г.

Представлены результаты исследований загрязнения снежного покрова биогенной составляющей атмосферного аэрозоля, проведенных в окрестности Новосибирска в 1999 – 2000 гг. Концентрация обнаруженного суммарного белка достигает десятков миллиграммов на 1 м². Также в пробах обнаружены живые микроорганизмы. Полученные результаты показывают хорошее соответствие наблюдаемых данных с расчетными. Отмечено, что концентрация суммарного белка изменяется по мере удаления от источников аэрозолей как органической, так и неорганической природы.

Введение

Снег является хорошим аккумулятором загрязнений, поступающих в зимний период из атмосферы. Это подтверждено проводившимися ранее исследованиями содержания в снеге полиароматических соединений, радионуклидов и тяжелых металлов для оценки экологической обстановки в регионе [1–5]. Известно также, что биологические частицы и даже живые микроорганизмы хорошо сохраняются при низких температурах в снеге и отложениях льда [6–8].

В данной работе предпринята попытка оценить возможности использования снежного покрова для более полной оценки биогенной компоненты атмосферного аэрозоля в рамках проводящихся комплексных наземных и высотных измерений [9–11].

Материалы и методы

Для отбора проб использовались площадки как вблизи, так и вдали от мощных антропогенных источников. Из снега с помощью специального пробоотборника стерильно брался шурф площадью 1 дм² на всю глубину снежного покрова. Взятые образцы стерильно оттаивались, и проба делилась на несколько частей для анализа присутствия суммарного белка, живых микроорганизмов и, при необходимости, других характеристик (таких как присутствие грубодисперсных частиц неорганического происхождения и др.).

Содержание суммарного белка в пробах анализировалось по методу Бредфорда [12]. Чувствительность метода составляла 0,1 мкг/мл смыва пробы с фильтра. Погрешность измерений концентрации не превышала 30%.

Анализ живых микроорганизмов был ограничен определением родов и концентрации жизнеспособных

бактерий и грибов в пробах, которое осуществляли путем последовательного высева десятикратно разведенных проб на соответствующие питательные среды с последующей окраской бактерий по Граму:

- полные питательные среды МПА, РПА, LB;
- среда Чапека, на основе экстрактов животного происхождения;
- минеральные питательные среды известного состава;
- среды с использованием почвенной вытяжки.

Проявившиеся в пробах колонии изучались визуально под микроскопом. Также проводился ряд дополнительных тестов [13, 14].

Для оценивания длительного (месяц, сезон, год) загрязнения местности от локального источника по данным наблюдений была предложена и апробирована следующая регрессионная зависимость [15, 16]:

$$p(r, \varphi, \Theta) = \Theta_1 g(\varphi + 180^\circ) r^{\Theta_2} \exp(-c/r), \quad (1)$$

где p – удельное содержание исследуемой примеси в снеге (почве, воздухе); r, φ – полярные координаты расчетной точки с началом в месте расположения источника; $g(\varphi)$ – климатическая повторяемость направлений ветра для рассматриваемого промежутка времени; c – величина, зависящая от высоты источника, температуры и объема выбрасываемой газовой смеси и скорости ветра; $\Theta = (\Theta_1, \Theta_2)$ – вектор неизвестных параметров.

Компонента Θ_1 пропорциональна мощности эмиссии и достаточно сложным образом зависит от климатических характеристик скорости ветра, коэффициентов турбулентного обмена, высоты источника и скоростей оседания аэрозольной примеси, а

$$\Theta_2 = -2 - w/[k_1(n+1)], \quad (2)$$

где w – скорость седиментации аэрозольных частиц; k_1 – коэффициент вертикальной турбулентной диффузии на высоте 1 м; n – показатель степени в аппроксимации горизонтальной компоненты скорости ветра степенным профилем.

При $\Theta_2 \rightarrow -2w \rightarrow 0$, что отвечает случаю слабооседающей примеси. При наличии климатической информации о скорости ветра и сведений о геометрических и термодинамических характеристиках источника величина c может быть рассчитана предварительно с учетом соотношения [17]:

$$c = 2r_{\max},$$

или найдена по результатам наблюдений приземного поля концентрации для слабооседающей примеси, где r_{\max} – точка максимальной приземной концентрации для неветероносимой примеси. В противном случае величину c следует отнести к числу оцениваемых параметров модели (1).

Результаты и обсуждение

Отбор проб снега проводился в г. Новосибирске и его окрестностях в феврале 1999 г. и в феврале – марте 2000 г. Обнаружено, что во всех пробах присутствуют большое количество суммарного белка, концентрация которого достигает десятков миллиграммов на 1 м² снежного покрова, и живые микроорганизмы.

В пробах снега, взятых в 1999 г. в окрестности котельной Новосибирского завода конденсаторов (НЗК), обнаружена корреляция между концентрациями микроорганизмов и количеством суммарного белка (табл. 1).

Таблица 1

Сводные данные по содержанию белка в снеге на 1 дм² поверхности, концентрации микроорганизмов и их видов в порядке частоты встречаемости в тех же пробах

Номер пробы	Содержание белка в пробе, мг/дм ²	Виды микроорганизмов в порядке частоты встречаемости	Содержание микроорганизмов, КОЕ/дм ² ***
1	1,8	Палочки (гр+)* Палочки (гр-)**	14
2	2,5	Палочки (гр+)	41
3	< 0,4	Палочки (гр-) Палочки (гр+) Кокки (гр-)	6
4	0,5	Палочки (гр+) Палочки (гр-)	4
5	1,8	Палочки (гр+) Палочки (гр-)	52
6	1,6	Палочки (гр+) Палочки (гр-)	124
7	2,7	Палочки (гр+) Палочки (гр-)	63
8	2,6	Палочки (гр+) Палочки (гр-)	100
9	< 0,4	Палочки (гр+) Палочки (гр-)	31
10	< 0,4	Палочки гр.+ Палочки гр.-	7

* Грамположительные микроорганизмы.

** Грамотрицательные.

*** Колониеобразующие единицы.

Поскольку выбросы исследуемых объектов не содержат белковую компоненту, то в данном случае, вероятно, играет роль явление прилипания мелких частиц биоаэрозоля к поверхности частиц выброса с дальнейшим их уносом или «вымывания» мелких частиц биоаэрозоля более крупными – «летающими из трубы». Как отмечалось выше, вблизи мест пробоотбора не было мощных источников биоаэрозолей, поэтому естественно считать, что средние значения концентрации живых микроорганизмов и белкового содержания аэрозольных частиц равны «фоновым» значениям. Но в этом случае «вымывы» из атмосферы частицы должны создавать синбатно меняющиеся количества живых микроорганизмов и белкового содержания в пробах.

Исходя из предложенной гипотезы, была сделана попытка установить корреляцию между фиксируемыми в снеговой пробе количествами живых микроорганизмов и суммарного белка. Была рассчитана ранговая корреляция по методу Спирмена [18]. Величина корреляции r_s оказалась равной 0,70, что на уровне значимости 5% отвергает «нулевую» гипотезу по двухстороннему критерию и служит весомым аргументом в пользу предложенной гипотезы попадания биогенной составляющей атмосферного аэрозоля в снеговой покров.

В 2000 г. были проведены маршрутные снего съемки в окрестности Бердского химического завода (БХЗ) и НЗК. Условия местности и состояние снежного покрова позволили проложить маршруты в северном направлении от источников выброса примеси, что обеспечивает достаточно высокую информативность экспериментальных данных [16]. Часть точек пробоотбора (опорные точки) использовалась для оценивания функции регрессии (1), по остальным точкам проводился контроль точности восстановления. При выборе опорных точек учитывалась оптимальность их размещения [19]. Выброс белковых примесей с промплощадки БХЗ производится на высоте около 30 м. В этом случае оценка r_{\max} составляет приблизительно 0,3 – 0,4 км. Для котельной НЗК величина r_{\max} равна 0,8 км. Это значение было оценено по данным измерений 1998–1999 гг. химического состава снеговых проб [16].

Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 2. Полученные данные позволяют провести их интерпретацию средствами математического моделирования на основе приведенной выше зависимости (1).

На рис. 1,б и 2,б представлены результаты восстановления удельного содержания белка в направлении выбранных маршрутов. Сравнение в контрольных точках наблюдений с расчетом показывает их удовлетворительное соответствие, которое подтверждает адекватность выбранной модели протекающим процессам длительного белкового загрязнения местности. В табл. 3 приведены оценки вектора Θ и суммарного содержания белка в снеговом покрове.

Анализ табл. 3 с учетом (2) показывает, что относительная скорость оседания частиц, содержащих

белок, для НЗК примерно в 2 раза выше, чем для БХЗ. В данном случае это различие объясняется особенностями пылевых выбросов котельной НЗК.

Таблица 2

Белковое загрязнение снега в окрестности БХЗ и НЗК

Расстояние, км	Концентрация, мкг/мл
БХЗ, северное направление	
0,25	7,1
0,3	2,3
0,35	5,1
0,4	2,4
0,45	2,8
0,6	1,2
0,65	1,5
НЗК, северное направление	
0,25	4
0,3	5,1
0,35	3,5
0,4	1,4
0,47	1,3
0,6	1,2

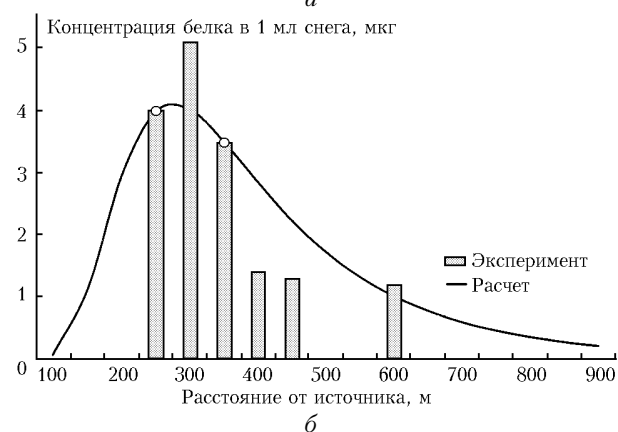
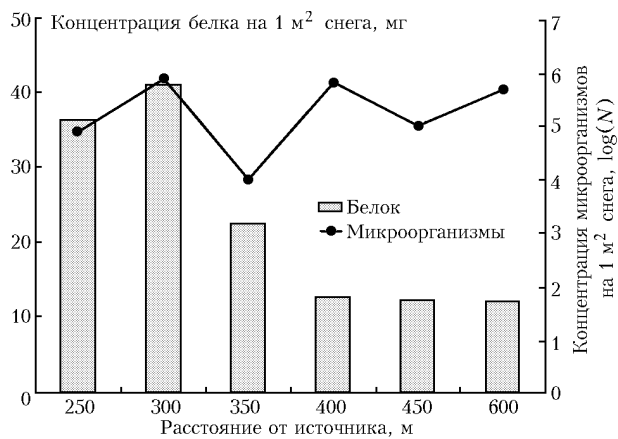


Рис. 1. Зависимость концентраций суммарного белка и микроорганизмов от расстояния до трубы НЗК (а) и экспериментальные и расчетные данные содержания белка в снежном покрове в зависимости от расстояния до трубы НЗК. На расчетной кривой выделены опорные точки, использованные для оценивания функции регрессии (б)

Из результатов предыдущих исследований химического загрязнения снежного покрова в окрестности котельной

для крупнодисперсной составляющей пыли (более 2 мкм) $\Theta_1 \approx 8,1$. Для мелкой же фракции $\Theta_2 \approx 5,5$. Эти данные в сравнении с табл. 3 показывают, что захват белка из атмосферы происходил, в основном, за

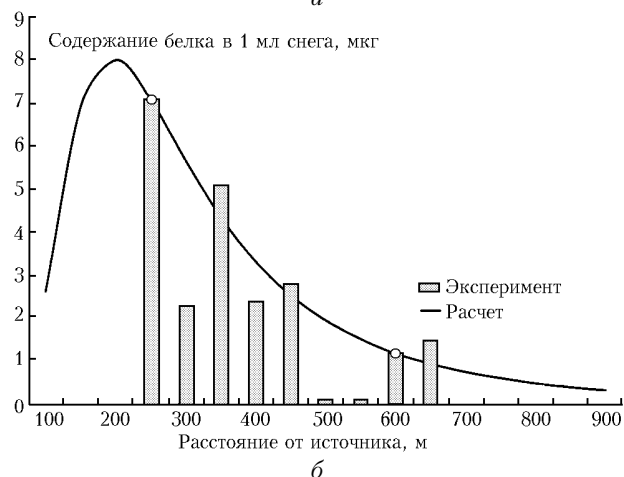
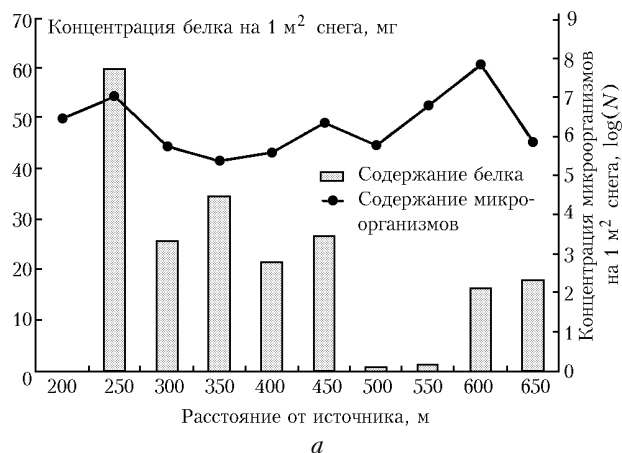


Рис. 2. Зависимость концентраций суммарного белка и микроорганизмов от расстояния до трубы БХЗ. Значение концентрации суммарного белка в точке, расположенной на расстоянии 200 м от источника, не определено (а). Экспериментальные и расчетные данные содержания белка в снежном покрове в зависимости от расстояния до трубы БХЗ. На расчетной кривой выделены опорные точки, использованные для оценивания функции регрессии (б)

Таблица 3

Оценка параметров регрессии и суммарных выбросов белка

Источник	Оценка параметров		Суммарный выброс, кг
	Θ_1	Θ_2	
БХЗ	1,06	-3,68	24,7
НЗК	0,73	-5,84	15,4

счет мелкодисперсной составляющей пыли. Подобие кривых распределения плотности осадка с удалением от котельной НЗК для белка и мелкой пыли позволяет сделать практически важный вывод. Суть его состоит в том, что распределение содержания белка с расстоянием можно, в принципе, провести по одной точке или очень ограниченному их числу, оценивая лишь параметр Θ_1 . Оценку же Θ_2 можно найти из анализа данных мелкодисперсной составляющей пыли.

Как следует из данных, приведенных на рис. 1,а и 2,а, наряду с выраженной зависимостью концентрации суммарного белка от расстояния до возможного источника загрязнений, такой зависимости для концентрации живых микроорганизмов в снеге не обнаружено. Этот факт свидетельствует о том, что, вероятно, в нашем случае источники живых микроорганизмов и суммарного белка не связаны между собой и имеют различную природу.

Таким образом, можно обоснованно сделать вывод, что приведенные выше результаты показывают возможность использования снеговых проб для анализа биогенной компоненты атмосферного аэрозоля в нашем регионе.

1. Рапута В.Ф., Садовский А.П., Олькин С.Е., Латтева Н.А. Оценка состояния загрязнения города по данным мониторинга снежного покрова // Оптика атмосфер. и океана. 1998. Т. 11. № 6. С. 602–605.
2. Рапута В.Ф., Ходжер Т.В., Горшков А.Г., Куценогий К.П. Некоторые закономерности загрязнения окрестностей Иркутска полиароматическими углеводородами // Оптика атмосфер. и океана. 1998. Т. 11. № 6. С. 650–653.
3. Рапута В.Ф., Садовский А.П., Олькин С.Е., Коковкин В.В., Морозов С.В., Вялков А.И. Экспериментальное и теоретическое исследование выбросов ПАУ угольными котельными и электростанциями // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12. № 6. С. 540–543.
4. Израэль Ю.А., Волков А.С., Ковалев А.Ф. Радиоактивное загрязнение территории бывшего Советского Союза от испытательных ядерных взрывов на Новой Земле осенью 1961 г. // Метеорол. и гидрол. 1995. № 5. С. 5–12.
5. Акулов А.И., Мингазов И.Ф. Состояние окружающей среды и заболеваемость населения в Новосибирске. Новосибирск: Наука, 1993. 97 с.
6. Жизнь микробов в экстремальных условиях / Под ред. Д. Кашнера. М.: Мир, 1981. 519 с.
7. Gregory P.H. Microbiology of Atmosphere. London: Leonard Hill, 1961. 251 p.
8. Gruber S., Jaenicke R. Biological particles in snow sam-

les from the high Alpine site of Jungfrauoch (3454 m) // J. Aerosol Sci. 2000. V. 31. Suppl. 1. P. S737–S738.

9. 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.
10. 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.
11. Belan B.D., Borodulin A.I., Buryak G.A., Marchenko Yu.V., Olkin S.E., Panchenko M.V., Pyankov O.V., Safatov A.S. Annual changes in concentration of protein content of atmospheric aerosol in the South of Western Siberia // J. Aerosol Sci. 2000. V. 31. Suppl. 1. P. S963–S964.
12. Practical Protein Chemistry: A Handbook / Ed. A. Darbe. Chuchester e.o.: John Wiley & Sons, 1986. P. 297–298.
13. The Prokaryotes. A Handbook on the Biology of Bacteria: Ecophysiology, Isolation, Identification, Application / Ed. A. Barlows. Berlin: Heidelberg, 1992. V. 1–4.
14. Методы экспериментальной микологии: Справочник. Киев: Наукова думка, 1982. 452 с.
15. Рапута В.Ф., Садовский А.П., Олькин С.Е. Реконструкция выпадений бенз(а)пирена в окрестностях Новосибирского электродного завода // Метеорол. и гидрол. 1997. № 2. С. 33–41.
16. Коковкин В.В., Рапута В.Ф., Шуваева О.В. Пространственная динамика аэрозольных выбросов угольной котельной // Химия в интересах устойчивого развития. 1999. Т. 7. № 7. С. 477–483.
17. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеондат, 1975. 448 с.
18. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. С. 268–271.
19. Федоров В.В. Теория оптимального эксперимента. М.: Наука, 1971. 312 с.

I.S. Andreeva, A.I. Borodulin, G.A. Buryak, V.V. Kokovkin, S.E. Ol'kin, V.A. Petrishchenko, V.F. Raputa, I.K. Reznikova, A.S. Safatov, E.V. Stepanova. Study of the biogenic part of atmospheric aerosols accumulated in the snow in the vicinity of Novosibirsk.

The results of the study of biogenic impurities accumulated in the snow in the vicinity of Novosibirsk in 1999 – 2000 are presented. It was found that total protein concentration in the snow is up to tens of micrograms per square meter of the snow surface. Alive microorganisms were also found in the snow. Good agreement between calculated and measured values of total protein concentration was shown. It was found that the total protein concentration in the snow decreases while the distance from the sources of both organic and inorganic aerosols increases.