

**И.С. Андреева, А.И. Бородулин, Г.А. Буряк, С.Е. Олькин,
В.А. Петрищенко, В.Ф. Рапута¹, И.К. Резникова, А.С. Сафатов**

Изучение биогенной компоненты атмосферного аэрозоля, аккумулярованного в снежном покрове вблизи некоторых источников аэрозолей

*ГНЦ ВБ «Вектор», пос. Кольцово, Новосибирская область
¹ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск*

Поступила в редакцию 27.11.2001 г.

Представлены результаты проведенных в окрестности Новосибирска в 2001 г. исследований биогенной составляющей атмосферного аэрозоля, аккумулярованного в снежном покрове. Отмечено, что концентрация суммарного белка изменяется по мере удаления от источников аэрозолей как органической, так и неорганической природы. Для микроорганизмов такой зависимости не обнаружено. Также приведены данные по разнообразию обнаруженных в снегу микроорганизмов. Обсуждаются возможные особенности попадания аэрозольных частиц, содержащих белок и микроорганизмы, в снег.

Введение

В предыдущей статье [1] нами показана возможность использования проб снежного покрова для анализа биогенной компоненты атмосферного аэрозоля в Новосибирском регионе. Действительно, являясь хорошим аккумулятором загрязнений, поступающих в зимний период из атмосферы, снег ранее использовался для изучения загрязнения местности полиароматическими соединениями, радионуклидами и тяжелыми металлами [2–6]. Также изучались и некоторые микробиологические характеристики снежного покрова [7–9].

В настоящей статье дана более полная оценка биогенной компоненты атмосферного аэрозоля в рамках проводящихся комплексных наземных и высотных измерений [10–14]. Уникальность получаемых результатов состоит в том, что другими методами трудно правильно оценить концентрацию выбрасываемого аэрозоля и по ней восстановить характеристики источника вследствие непостоянной работы последнего, стохастической природы распространения аэрозольных загрязнений в атмосфере и трудности проведения одновременного пробоотбора во многих точках шлейфов выбросов. Кроме того, снег не содержит присущих почве в больших количествах биогенных компонент, поэтому пригоден и для изучения биогенной составляющей атмосферного аэрозоля.

Материалы и методы

Для отбора проб использовались площадки как вблизи, так и вдали от мощных антропогенных ис-

точников. Из снега с помощью специального пробоотборника стерильно бралось содержимое шурфа площадью 1 дм² на всю глубину снежного покрова. С 1 м² поверхности бралось 5 шурфов, которые объединялись в один образец. Взятые образцы стерильно оттаивались, и проба делилась на несколько частей для анализа суммарного белка и живых микроорганизмов.

Содержание суммарного белка анализировалось в лабораторных условиях одним из двух методов. Во-первых, по методу Бредфорда [15], чувствительность которого составляла 0,1 мкг/мл, а погрешность измерений концентрации не превышала 30%. Во-вторых, флуоресцентным методом с использованием красителя, описанного в [16], чувствительность этого метода составляла примерно 0,01 мкг/мл, погрешность измерений концентрации менее 20%.

Для обнаружения в пробах атмосферного аэрозоля живых микроорганизмов использовались следующие питательные среды: агаризованная полная и обедненная (разбавление 1:10) среда LB; крахмало-аммиачная среда для выявления актиномицетов; почвенный агар, среды Сабуро (рН 5,4) и Чапека (рН 6,5) для выявления низших грибов и дрожжей. Исследуемые образцы высевались на чашки Петри с питательными средами (при необходимости готовились последовательные разведения проб) и инкубировались в термостате до 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. Таксономическую принадлежность выявленных микроорганизмов определяли до рода [17, 18]. При этом в группу, обозначенную нами «неспороносные бактерии», включались самые разные микроорганизмы, не образующие эндоспores: грамположительные и грамположительные коккобациллы, разнообразные неспорообразующие палочки, окрашивающиеся грамтрицательно (среди них: псевдомонасы, бактерии кишечной группы и другие). В эту выделенную нами условную группу входят также бактерии, клетки которых имеют неправильную форму, например микобактерии, нокардии. Кроме того, проводился ряд дополнительных тестов [17, 18].

Расчет числа живых микроорганизмов в пробах осуществлялся по стандартным методикам [19], при этом количество микроорганизмов усреднялось по 2–3 параллелям рассеянных на 4–5 различных средах проб.

Для оценки длительного загрязнения местности от локального источника по данным наблюдений предложена регрессионная зависимость [20, 21], апробированная в [1]. Такой подход позволяет оценивать характеристики локальных источников загрязнений.

Результаты и обсуждение

Пробы снега, взятые в конце февраля 2001 г. в районе Бердского химического завода (БХЗ) и Новосибирского электродного завода (НЭЗ), были проанализированы методами, описанными в предыдущем разделе. Обнаружено, что концентрация суммарного белка в снеге изменяется по определенному закону по мере удаления от источника аэрозолей. В то же время в этих образцах аналогичной зависимости от расстояния для живых микроорганизмов обнаружено не было (рис. 1 и 2). Следует сразу же отметить, что большое значение концентрации суммарного белка на рис. 1 на расстоянии 500 м от источника может быть обусловлено попаданием в снег постороннего биозагрязнения. По методу, изложенному в работах [1, 20, 21], строились регрессионные модели, описывающие наблюдаемые зависимости. Для БХЗ эта зависимость представлена на рис. 3. Для НЭЗ адекватной модели построить не удалось.

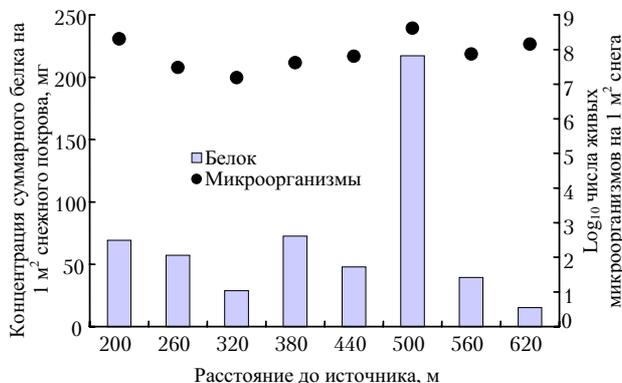


Рис. 1. Зависимость концентраций суммарного белка и микроорганизмов от расстояния до трубы БХЗ в снежном покрове в 2001 г.

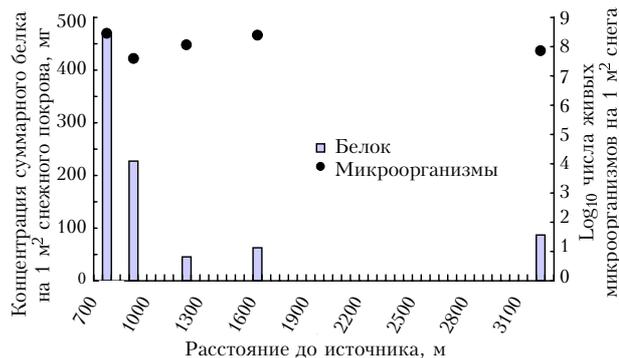


Рис. 2. Зависимость концентраций суммарного белка и микроорганизмов от расстояния до трубы НЭЗ в снежном покрове в 2001 г.

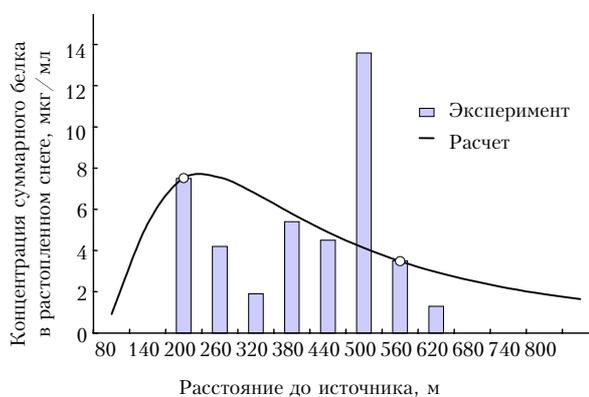


Рис. 3. Экспериментальные и расчетные данные содержания белка в снежном покрове в зависимости от расстояния до трубы БХЗ. На расчетной кривой выделены опорные точки, использованные для оценивания функции регрессии

Сравним результаты оценки выбросов суммарного белка БХЗ зимой 2000/01 г. с данными, полученными для БХЗ в 2000 г. и для Новосибирского конденсаторного завода (НЗК). Как следует из данных, приведенных в табл. 1, мощности выбросов и дисперсный состав аэрозоля от БХЗ близки между собой.

Таблица 1

Оценка параметров регрессии и суммарных выбросов белка

Источник, год измерения	Оценка параметров		Суммарный выброс, кг
	θ_1	θ_2	
БХЗ, 2001	2,22	-2,62	16,2
БХЗ, 2000	1,06	-3,68	24,7
НЗК, 2000	0,73	-5,84	15,4

Примечание. Данные за 2000 г. взяты из [1]. Величина 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. Величина θ_2 зависит от скорости седиментации аэрозольных частиц, коэффициента вертикальной турбулентной диффузии на высоте 1 м и показателя степени в аппроксимации горизонтальной компоненты скорости ветра степенным профилем.

Процентное соотношение представительства микроорганизмов в пробах снега

Место пробоотбора, год измерения	Расстояние до источника, м	Бациллы	Кокки	Неспорозносные бактерии	Грибы	Актиномицеты
БХЗ, 2000	250	28,76	47,32	21,34	2,58	–
	300	2,27	81,82	6,82	9,09	–
	350	–	54,05	27,03	18,92	–
	400	2,55	73,98	10,20	13,27	–
	450	–	40,91	47,73	11,36	–
	500	2,22	64,44	14,44	18,90	–
	550	19,69	59,08	17,90	3,33	–
	600	18,33	10,18	71,27	0,22	–
БХЗ, 2001	650	3,50	–	92,82	3,68	–
	200	30,55	30,55	34,36	4,54	–
	260	39,72	1,87	29,44	28,97	–
	320	38,98	20,34	23,73	16,95	–
	380	12,27	44,61	24,16	18,96	–
	440	3,01	51,10	31,66	14,23	–
	500	–	48,58	48,58	2,84	–
	560	1,71	32,93	28,66	36,70	–
НЭЗ, 2001	620	2,01	3,90	91,61	2,48	–
	750	4,51	66,35	10,53	18,61	–
	900	17,58	46,15	13,19	21,98	1,10
	1200	1,59	3,58	94,16	0,67	–
	1600	3,88	3,11	92,52	0,49	–
	3200	0,91	14,61	76,14	8,34	–

В то же время, по нашим данным, НЗК не является источником белка, однако и в его окрестности концентрация белка в снежном покрове описывается зависимостью, которая аналогична приведенной на рис. 3 из работы [1]. По-видимому, значительная часть белка, попадающего в снег, просто «вымывается» из атмосферы грубодисперсными частицами выбросов, а не поступает непосредственно из антропогенных источников. В пользу этого предположения говорит и тот факт, что наблюдаемая в зимний период концентрация суммарного белка в атмосфере довольно велика, а само его присутствие в нашем регионе определяется в основном очень удаленными мощными источниками [11–13].

Как отмечалось выше (см. рис. 1 и 2), наряду с выраженной зависимостью концентрации суммарного белка от расстояния от возможного источника загрязнений, таковой зависимости для концентрации живых микроорганизмов в снегу 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. Более того, если принять за основу гипотезу «вымывания» содержащего суммарный белок аэрозоля, то необходимо сделать следующее заключение: обнаруженные живые микроорганизмы и большая часть белка содержатся в частицах разного размера. Естественно, что довольно большие по размеру частицы, содержащие атмосферные микроорганизмы [22], практически не взаимодействуют с грубодисперсными частицами антропогенных выбросов, тогда как более мелкие частицы, содержащие суммарный белок, «вымываются» из атмосферы грубодисперсными частицами выбросов, создавая в снеге отложения, которые описываются моделями выбросов от источников, с характерными размерами частиц выбросов, лежащими в микронном размере. Кроме того, не исключена возможность и «прямого» попадания микроорганизмов в снежинки, поскольку, как известно [23–25], некоторые микроорганизмы могут являться центрами нуклеации новой фазы, которая, вырастая, и образует выпадающие снежинки.

Обратимся теперь к результатам по изучению разнообразия состава микроорганизмов, обнаруженных в снежном покрове. Как следует из данных, представленных в табл. 2, даже в соседних по расстоянию точках наблюдается изменение представительства различных видов микроорганизмов, хотя оно и не так ярко выражено, как в близких высотах в атмосфере (см. [14]). Такая ситуация вполне ожидаема, поскольку снег, собирая попавшие в него частицы и сохраняя их на протяжении всей зимы, осуществляет естественное интегрирование существующего изменения разнообразия во времени находящихся в атмосфере микроорганизмов. Отметим также, что полученные данные для концентрации и представительства микроорганизмов в образцах снежного покрова согласуются с таковыми для других регионов [7–9, 26].

Таким образом, изучение снежного покрова дает чрезвычайно важную информацию для нашего региона о биогенной компоненте атмосферного аэрозоля, его возможных локальных и удаленных источниках.

1. Андреева И.С., Бородулин А.И., Буряк Г.А., Кокочкин В.В., Олькин С.Е., Петрищенко В.А., Рапута В.Ф., Резникова И.К., Сафатов А.С., Степанова Е.В. Оценка биогенных загрязнений в снежном покрове в окрестности Новосибирска // Оптика атмосф. и океана. 2001. Т. 14. № 6–7. С. 547–550.
2. Рапута В.Ф., Садовский А.П., Олькин С.Е., Лантева Н.А. Оценка состояния загрязнения города по данным мониторинга снежного покрова // Оптика атмосф. и океана. 1998. Т. 11. № 6. С. 602–605.
3. Рапута В.Ф., Ходжер Т.В., Горшков А.Г., Куценогий К.П. Некоторые закономерности загрязнения окрестностей Иркутска полиароматическими углеводородами // Оптика атмосф. и океана. 1998. Т. 11. № 6. С. 650–653.
4. Рапута В.Ф., Садовский А.П., Олькин С.Е., Кокочкин В.В., Морозов С.В., Вялков А.И. Экспериментальное и теоретическое исследование выбросов ПАУ угольными котельными и электростанциями // Оптика атмосф. и океана. 1999. Т. 12. № 6. С. 540–543.
5. 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.
6. Акулов А.И., Мингазов И.Ф. Состояние окружающей среды и заболеваемость населения в Новосибирске. Новосибирск: ВО Наука, 1993. 97 с.

7. *Виноградова Т.П., Чугай В.Л., Казакова М.В., Белобородова С.В., Королева Г.П.* Микробиологические исследования снежного покрова территории Иркутской области // Тез. конф. «Биоразнообразие микроорганизмов Восточно-Сибирского региона и их научно-практическое использование». Иркутск, 2 ноября 1999. С. 15–17.
8. *Королева Г.П., Горшков А.Г., Виноградова Т.П., Бутков Е.В., Мариняйте И.И., Ходжер Т.В.* Исследования загрязнения снежного покрова как депонирующей среды (Южное Прибайкалье) // Химия в интересах устойчивого развития. 1998. Т. 6. № 3. С. 327–337.
9. *Кулько А.Б., Марфенина О.Е.* Особенности видового состава микроскопических грибов в снеговом покрове городской среды // Микробиология. 1998. Т. 67. № 4. С. 569–572.
10. *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 атмосф. и океана. 1999. Т. 12. № 6. С. 507–511.
11. *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.
12. *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.
13. *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 В.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.
14. *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. 1–5.
15. *Практическая химия белка* / Под ред. А. Дарбе. М.: Мир, 1989. С. 297–298.
16. *You W.W., Haugland R.P., Ryan D.K., Haugland R.P.* 3-(4-Carboxybenzoyl)quinoline-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.
17. *The Prokaryotes: A Handbook on Habitats, Isolation, and Identification of Bacteria* / M.P. Starr, H. Stolp, H.G. Truper, A. Balows, H.G. Scchlegel, Eds. Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer-Verlag, 1981. 2596 p.
18. *Методы экспериментальной микологии.* Киев: Наукова думка, 1982. 550 с.
19. *Ашмарин И.П., Воробьев А.А.* Статистические методы в микробиологических исследованиях. Л.: Гос. изд. мед. лит., 1962. 180 с.
20. *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.
21. *Коковкин В.В., Рапута В.Ф., Шуваева О.В.* Пространственная динамика аэрозольных выбросов угольной котельной // *Химия в интересах устойчивого развития.* 1999. Т. 5. № 7. С. 477–483.
22. *Tong Y., Lighthart B.* The annual bacterial particle concentration and size distribution in the ambient atmosphere in the rural area of the Willamette valley, Oregon // *Aerosol Sci. Technol.* 2000. V. 32. № 5. P. 393–403.
23. *Schnell R.C., Vali G.* Biogenic ice nuclei: Part I. Terrestrial and marine sources // *J. Atmos. Sci.* 1976. V. 33. № 8. P. 1554–1564.
24. *Vali G., Christensen M., Fresh R.W., Galyan E.L., Maki L.R., Schnell R.C.* Biogenic ice nuclei: Part II. Bacterial sources // *J. Atmos. Sci.* 1976. V. 33. № 8. P. 1565–1570.
25. *Lindeman J., Constantinidou H.A., Barchet W.R., Upp C.D.* Plants as sources of airborne bacteria, including ice nucleation-active bacteria // *Appl. Environ. Microbiol.* 1982. V. 44. N 5. P. 1059–1063.
26. *Gruber S., Jaenicke R.* Biological particles in snow samples from the high Alpine site of Jungfrauoch (3454 m) // *J. Aerosol Sci.* 2000. V. 31. Suppl. 1. P. S737–S738.

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

The results of the study of biogenic atmospheric aerosols accumulated in the snow cover in the vicinity of Novosibirsk, 2001 are presented. Just like it was described in the previous paper, it was found that total protein concentration in the snow is decreased as the distance from the sources of both organic and inorganic aerosols increases. These dependencies for living microorganisms were not found in the snow. Data on microorganism content in the snow are also presented. Possible ways of aerosol particles containing total protein and microorganisms deposition onto snow cover are discussed.