

УДК 535.536

Т.В. Андрухова, А.П. Бочкар, И.П. Чефранов
**Изучение элементного состава аэрозольных
загрязнений снежного покрова г. Барнаула
за 2002–2005 гг.**

Барнаул – один из крупных промышленных центров Сибири, где полиэлементное химическое загрязнение окружающей среды представляет серьезную экологическую проблему, связанную с состоянием воздушного бассейна города и близлежащих населенных пунктов. Из-за выбросов промышленных предприятий и транспорта в воздухе и в конечном счете в снеге и почве накапливаются различные химические элементы, поэтому в городе Барнауле актуальны исследования элементного состава аэрозольных загрязнений и их концентраций.

В последнее время в мониторинге загрязнения окружающей среды часто используются природные планшеты, и в этом смысле интерес представляет изучение состава снежного покрова как накопителя различных химических элементов [1, 2].

Для полной оценки степени загрязнения воздуха аэрозольными частицами, а также для комплексного изучения аэрозоля необходимо знать его микроструктуру и концентрацию содержащихся в нем химических элементов. Цель работы – изучение элементного состава аэрозольных загрязнений снежного покрова, а именно: определение и анализ динамики концентраций отдельных химических элементов в снеге г. Барнаула за 2002–2005 гг.

За этот период было отобрано и проанализировано более 200 образцов снега. Проводился качественный и количественный атомно-эмиссионный спектральный анализ пыли [3], полученной в результате вытапливания снеговых проб. Пробы снега, отобранные до начала снеготаяния (начало марта каждого года), дают интегральный состав аэрозолей, а отобранные (помесячно) с ноября по март характеризуют их изменчивость в течение зимнего сезона. Был проведен отбор снега в восьми точках на территории Барнаула, а также в экспериментальном районе, расположенном в центре города на пересечении крупных транспортных магистралей.

Надежность элементного анализа аэрозоля во многом зависит от пробоотбора и пробоподготовки. Опасность загрязнить пробу может быть уменьшена при правильном выборе метода забора аэрозоля. Для сбора аэрозольных частиц использовался метод отбора снеговых проб, ко-

торый проводился не только в черте города, но и за его пределами, в частности, в районе оз. Красилово, находящегося на расстоянии ~60 км от Барнаула. Измерения в районе оз. Красилово рассматривались как фоновые. Пробы снега отбирались специальным устройством в виде трубы из неактивного сплава (кернами) с площадью основания 0,0095 м² и на всю глубину снежного покрова, в каждой точке отбора забиралось не менее трех образцов. Каждая проба снега помещалась в химически неактивную тару и хранилась до анализа при температуре от –5–20 °С. Перед анализом проба снега помещалась в стеклянную емкость и вытапливалась. Для получения сухого остатка использовался метод фильтрации. Снеговую воду пропускали через бумажный фильтр с диаметром пор 2 мкм. Осадок, представлявший основной интерес, оседал на фильтре и высушивался в чистом изолированном сосуде при температуре 18–20 °С.

Для изучения состава городского аэрозоля методом эмиссионного спектрального анализа нами была собрана и отлажена установка, состоящая из ИВС-28, дифракционного спектрографа ДФС-452 высокой разрешающей способности, многоэлементного фотоприемника и персонального компьютера.

Для исследования динамики концентраций использовалось семь элементов: Cd, Fe, Cu, Pb, Si, Al, Mn. Выбор этих элементов обусловлен фактом их вредного влияния на организм человека [4, 5], наличием промышленных предприятий на территории Барнаула (аппаратурно-механический, котельный и т.д.), а также интенсивного автомобильного движения. По этим элементам проводилась калибровка по эталонным образцам БР04Ц7С5 по ГОСТ 613-79.

Забор проб проводился 28 числа каждого месяца в наблюдаемый период – с ноября по март на протяжении 2002–2005 гг. Для проведения анализа изменения концентраций (С, мг/м³) различных химических элементов в указанный период были использованы:

– результаты атомно-эмиссионного анализа по определению концентраций химических элементов в приземном слое атмосферы;

– данные наблюдения метеорологических станций в г. Барнауле за указанный наблюдаемый период [6].

Таблица 1

Основные месячные показатели погоды наблюдаемого периода с ноября по март 2002–2005 гг.

Период		Метеорологические данные								
		Средняя температура, °С	Максимальная температура, °С	Минимальная температура, °С	Среднее давление, мм рт. ст.	Средняя облачность, %	Преимущественное направление ветра	Средняя скорость ветра, м/с	Средняя влажность, %	Преимущественные осадки
2002–2003 гг.	Ноябрь 2002 г.	-2,1	12	-21	749,5	84,69	Ю, Ю-З	1–2	82,84	ливневой снег
	Декабрь 2002 г.	-18,5	-3	-32	755,7	54,10	Ю, Ю-З, штиль	3–5	78,11	умеренный снег
	Январь 2003 г.	-14	1	-34	752,4	47,85	Ю, Ю-З	3–5	76,44	ливневой снег
	Февраль 2003 г.	-13,4	-1	-28	751,5	48,78	Ю, Ю-З, штиль	2–3	74,37	ливневой снег
	Март 2003 г.	-7,2	6	-24	751,7	49,86	Ю, Ю-З, З	3–5	73,82	ливневой снег
2003–2004 гг.	Ноябрь 2003 г.	-9,5	2	-30	752,2	74,51	Ю, Ю-З, С-З	5–6	76,89	ливневой снег
	Декабрь 2003 г.	-21,3	-7	-31	757,2	66,40	Ю, Ю-З, С-З	3–5	75,21	ливневой снег
	Январь 2004 г.	-19	-1	-32	755,3	81,87	Ю-З	2–3	41,08	слабый снег
	Февраль 2004 г.	-9,4	4	-26	751,2	73,26	Ю-З, Ю	3–4	79,03	слабый снег
	Март 2004 г.	-7,6	5	-23	749,9	59,33	Ю-З, З	2–3	74,86	слабый снег
2004–2005 гг.	Ноябрь 2004 г.	-3,1	6	-14	750,4	67,89	Ю, Ю-З	2–3	82	слабый снег
	Декабрь 2004 г.	-15,1	2	-35	753,6	79	Ю-З, Ю, штиль	3–4	82	умеренный снег
	Январь 2005 г.	-16,5	0	-38	755,8	63	Ю-З	3–4	80	умеренный снег
	Февраль 2005 г.	-20,2	-3	-34	757,6	46,1	Ю	2–3	74,8	слабый снег
	Март 2005 г.	-3,7	9	-20	751,1	52,9	Ю, Ю-З	1–2	72,1	слабый снег

Анализ исходных метеорологических данных представлен в таблице 1. Наблюдения за погодой велись с интервалом 3 часа (0.00, 03.00, 06.00, 09.00, 12.00, 15.00, 18.00 и 21.00).

Ноябрь 2002 г. – март 2003 г. В ноябре наблюдался в основном ливневый снег, реже поземок и дымка. Погода в ноябре способствовала накоплению аэрозоля в снеговых пластах, поэтому глубина снега была большой, порядка 30–35 см. Средняя температура была относительно высокой для этого периода года в Барнауле, но это не оказало значимого влияния на снеговой покров. Невысокая скорость ветра способствовала оседанию аэрозоля из приземного слоя атмосферы в снеговые покровы. Направление ветра было преимущественно южным, юго-западным, реже юго-восточным и восточным. В декабре картина немного изменилась, наблюдались временами умеренный и слабый снег, также имели место ливневый снег, поземок. Умеренный снег способствовал накоплению аэрозоля в снеговых пластах, толщина снегового покрова,

составляла порядка 20 см. Средняя температура была значительно ниже, чем в ноябре, что способствовало замедлению химических реакций в снеге [7]. Направление ветра было юго-западным и южным, больше половины месяца простоял штиль. 7 января к 18.00 температура поднялась до 0 °С, что способствовало прессованию нижних слоев и таянию снега. Такая погода (0–2 °С) продержалась до 11 января. После 11 января низкая температура восстановилась и продержалась до конца месяца. Осадки в январе наблюдались только в первых числах. В основном небо было чистым, без осадков. В феврале осадков было мало, редко наблюдались слабый снег и низовая метель. Погода не способствовала накоплению аэрозоля в снеговых пластах, поэтому глубина снега практически не изменилась и составила порядка 10–15 см, если учесть таяние снега в январе, то можно предположить, что это снег, выпавший с 7 января по последние числа февраля. Средняя температура была стабильной для этого времени года, за исключением

18 февраля, когда температура была зафиксирована -1°C . Низкая скорость ветра способствовала оседанию аэрозоля из приземного слоя атмосферы в снеговые покровы. Направление ветра было юго-западным, северо-западным и северным. Март не принес новых значимых осадков. На 28 марта 2003 г. средняя глубина снежного покрова варьировала в пределах 20–35 см. Температура постепенно возрастала. Снег пролежал до конца месяца из-за низких ночных температур. Направление ветра практически не изменилось – юго-западное. Скорость ветра была немного выше, чем в феврале.

Ноябрь 2003 г. – март 2004 г. В ноябре наблюдался временами ливневый снег, осадков практически не было. Глубина снега была небольшой, порядка 10–15 см. Средняя температура была нормальной для этого периода года, в середине и конце месяца наблюдались пики похолодания до -20 – -27°C . Высокая скорость ветра способствовала выдуванию антропогенного аэрозоля из воздушного бассейна города, что сказало на слабой массовой концентрации сухого остатка к объему талой воды. Направление ветра было преимущественно южным, юго-западным. В декабре картина практически не изменилась за исключением усиления осадков – умеренный и слабый снег сменил ливневой. Ливневый снег, слабая скорость ветра и достаточно высокая влажность способствовали накоплению аэрозоля в снеговых пластах. Глубина снега на 28 декабря составила 50–70 см. Средняя температура была значительно ниже, чем в ноябре. Направление ветра было юго-западным и южным, больше половины месяца простоял штиль. В январе стояла низкая, но стабильная температура, которая продержалась до конца месяца. Осадков было мало и влажность была в пределах 40%, что сказало на накоплении аэрозоля. В феврале пошел умеренный снег. Погода способствовала накоплению аэрозоля, поэтому глубина снега заметно увеличилась и составила на 20 февраля 30–40 см, если учесть кратковременное потепление в середине месяца, то можно сказать, что оно было незначительно. Средняя температура была стабильной, за исключением 16 февраля, когда температура была зафиксирована 4°C . Март принес повышение среднемесячной температуры и слабый снег. На 28 марта 2003 г. средняя глубина снежного покрова варьировала в пределах 20–25 см. Температура к концу месяца постепенно возрастала. Скорость ветра была ниже, чем в феврале, что благоприятствовало оседанию аэрозоля в снеговых покровых.

Ноябрь 2004 г. – март 2005 г. В ноябре стояла теплая погода, температура воздуха была зна-

чительно выше, чем средняя температура для этого времени года. Осадков практически не наблюдалось, временами шел слабый снег, высота снегового покрова на 28 ноября составила 15–20 см. Направление ветра было преимущественно юго-западным, реже западным. В начале декабря наблюдался ливневый снег, который в середине месяца перешел в умеренный, а затем в слабый. Осадки способствовали накоплению аэрозоля, глубина снежного покрова составила на 28 декабря 35–40 см. Средняя температура была значительно ниже, чем в ноябре. Направление ветра не изменилось, уменьшилась лишь его скорость. В январе погода значительно не изменилась, за исключением понижения температуры. В феврале осадков было мало, временами наблюдался слабый снег и ледяной дождь. Глубина снега составила порядка 40–50 см. Средняя температура была нормальной. Повышение скорости ветра до 2–3 м/с не внесло ощутимых изменений в накопление аэрозоля в снеговых покровых. Направление ветра было преимущественно южным, реже юго-западным и юго-восточным. В марте наблюдалось потепление. Средняя глубина снежного покрова на 28 марта варьировалась в пределах 20–25 см. Небольшие осадки, но достаточные для образования пласта снега, дающего интегральную характеристику концентрации аэрозоля в снеге, наблюдались на всем протяжении марта и имели эпизодический характер.

Невысокая скорость ветра (1–3 м/с) оказывала влияние на элементный состав приземного слоя атмосферы. При изучении аэрозоля, собранного из снегового покрова во время штиля или слабых ветров, прослеживается зависимость как качественного, так и количественного состава аэрозоля от силы и направления ветра. Также большую роль для аккумуляции аэрозоля в снеге играет влажность и температура.

Наибольший вклад в элементный состав аэрозоля приземного слоя атмосферы вносят местные антропогенные источники (промышленность, транспорт). Концентрации же некоторых элементов заметно снижаются, вследствие выдувания аэрозоля из воздушного бассейна города. Визуально это заметно на примере смога, который имеет место в приземном слое атмосферы г. Барнаула и образуется в большей степени за счет местных источников. Следует учесть также и континентальный перенос аэрозоля, который вносит свой вклад в элементный состав приземного слоя атмосферы [8].

В работах многих авторов подмечены зональные различия химического состава атмосферно-

Средняя концентрация элементов в пробах (в %), собранных в опорных пунктах в черте города Барнаула за 2002–2005 гг.

Место	Период	Cd	Fe	Cu	Pb	Si	Al	Mn
Демидовская площадь	2002–2003	0,003	0,003	0,03	–	0,073	–	–
	2003–2004	–	0,015	–	0,002	–	–	–
	2004–2005	–	0,022	0,078	–	0,187	0,016	0,012
ХБК	2002–2003	0,005	0,065	0,002	–	0,119	–	–
	2003–2004	–	0,039	–	–	–	–	–
	2004–2005	–	0,048	0,033	–	0,170	0,024	0,056
Матросова	2002–2003	–	0,063	0,005	0,003	0,011	–	–
	2003–2004	–	0,016	0,032	–	–	–	–
	2004–2005	–	0,029	0,030	–	0,093	0,006	0,003
Балтийская	2002–2003	0,004	0,071	0,002	–	0,053	–	–
	2003–2004	–	0,006	–	–	–	–	–
	2004–2005	–	0,084	0,085	–	0,105	0,077	0,021
Старый базар	2002–2003	–	0,013	–	–	0,086	–	–
	2003–2004	–	0,004	–	0,002	–	–	–
	2004–2005	–	0,229	0,408	–	0,191	0,096	0,034
Солнечная поляна	2002–2003	0,005	0,085	0,002	–	0,088	–	–
	2003–2004	–	0,086	0,003	0,002	–	–	–
	2004–2005	–	0,112	0,018	–	0,044	0,065	0,004

го аэрозоля, его сезонная динамика и изменения концентрации основных химических примесей в осадках в зависимости от метеорологических условий. Химический состав снега, как атмосферных осадков, и снежного покрова неодинаков по разнообразию элементов и их количественному содержанию. Химический состав снежного покрова обусловлен рядом факторов: 1) содержанием различных химических примесей, имеющих в выпадающих атмосферных осадках; 2) поглощением снежным покровом различных газов из воздуха и, наоборот, потерей некоторых химических примесей за счет испарения их из снежного покрова; 3) количеством оседающих

из воздуха различных растворимых веществ; 4) взаимодействием снежного покрова с воздухом почвогрунтов и в целом с почвенно-растительным покровом; 5) ветровой деятельностью, обуславливающей пополнение снежного покрова органическими и минеральными частицами почвогрунтов и растительных остатков; 6) избирательным в пространстве влиянием микроорганизмов, населяющих снежный покров отдельных регионов; животных, ведущих зимой активный образ жизни; 7) деятельностью человека в районах промышленных предприятий, населенных пунктов и их окрестностей, вдоль транспортных магистралей и т.д. [7].

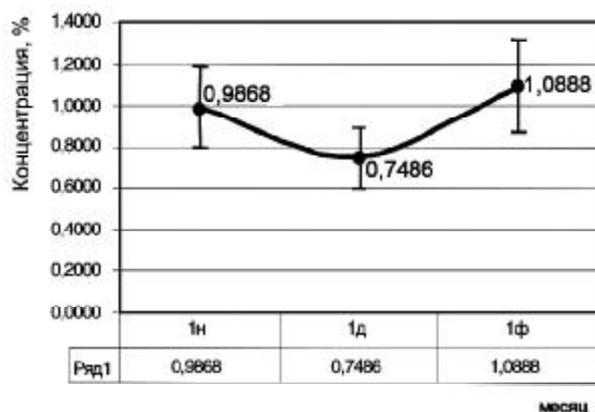


Рис. 1. Динамика концентрации Cu в 2004–2005 гг.

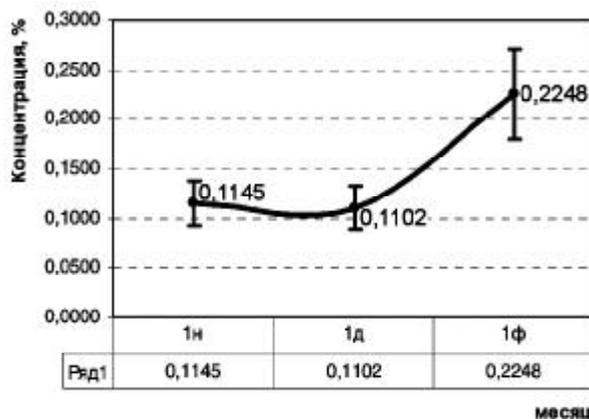


Рис. 2. Динамика концентрации Fe в 2004–2005 гг.

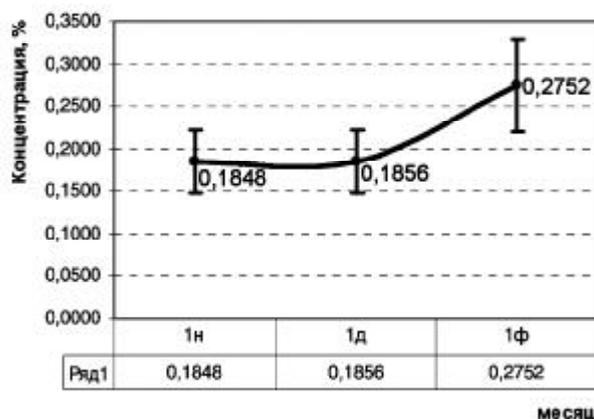


Рис. 3. Динамика концентрации Si в 2004–2005 гг.

Под влиянием всех этих факторов химический состав снежного покрова становится весьма разнообразным, являясь таким образом своего рода конденсатором химических элементов и соединений из атмосферы.

Итогом проведенной работы явилось измерение концентраций химических элементов в снеговых пробах и изучение их динамики. В таблице 2 представлены рассчитанные концентрации элементов в снеговых пробах, собранных в черте города в 2002–2005 гг.

Пробоотбор в экспериментальном районе проводился в конце каждого месяца, 28 числа.

Для того чтобы проследить динамику изменения концентраций элементов за зимний период (ноябрь–март), были построены графики изменения концентрации элементов для всех точек, расположенных в экспериментальном районе города. Построенные графики показывают динамику концентрации определенных элементов (Cd, Fe, Cu, Pb, Si, Al, Mn). Для примера на рисунках 1–4 представлены результаты динамики концентраций отдельных элементов в пробе №1

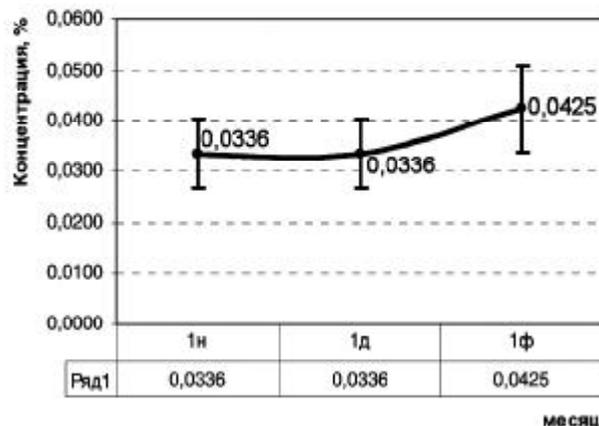


Рис. 4. Динамика концентрации Mn в 2004–2005 гг.

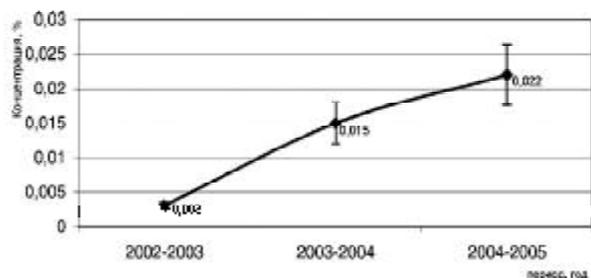


Рис. 5. Динамика расчетных концентраций железа в пробе «Демидовская площадь» в процентном соотношении к массе пробы за 2002–2005 гг.

исследуемого района за 2004–2005 гг. График на рисунке 5 иллюстрирует существенное увеличение расчетной концентрации Fe (железа) в пробе «Демидовская площадь» в процентном соотношении к массе пробы за 2004–2005 гг.

В ходе проведенных измерений полученные данные были сравнены со среднесуточной ПДК вредных веществ в атмосфере, и значительного превышения по этому ПДК обнаружено не было.

Литература

1. Бояркина А.П. Аэрозоли в природных планшетах Сибири / А.П. Бояркина, В.В. Бойковский, Н.В. Васильев и др. Томск, 1993.
2. Седунов Ю.С. Атмосфера: Справочник. Л., 1991.
3. Терек Т. Эмиссионный спектральный анализ / Т. Терек, И. Мика, Э. Гегуш. М., 1982. Т. 1–2.
4. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Л., 1991.
5. Безуглая Э.Ю. Чем дышит промышленный город / Э.Ю. Безуглая, Г.П. Расторгуева, И.В. Смирнова. Л., 1991.
6. [Http://www.gismeteo.ru](http://www.gismeteo.ru)
7. Осокин И.М. Химический состав снежного покрова на территории СССР // Известия АН СССР. 1963. №3.
8. Кондратьев К.Я. Атмосферный аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. Свойства аэрозоля различных типов // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17, №1.