

УДК 550.4: 504.5 (476)

С.В. КАКАРЕКА, О.Е. БЕЛЬКОВИЧ, В.Н. ЧУДУК

**ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И СНЕЖНОГО
ПОКРОВА НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ
(на примере г. Минска)***

The article contains methods of study of chemical composition of atmospheric precipitation and snow cover, results of searching of precipitation and snow cover samples in Minsk are included. Spatial differentiation of the main hydrochemical components in snow cover of Minsk city has been estimated. Comparative analysis of output of snow cover sampling in 2007 with the results of similar research in 1996 have been conducted. Dynamic of hydrochemical components of snow cover in a period of snow melting is given.

В Беларуси мониторинг атмосферных осадков начат в 1962 г. на станции Березино [1]. В настоящее время департаментом по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды в рамках НСМОС проводится отбор проб атмосферных осадков на 18 метеостанциях, большинство из которых расположены в городах. Однако применяемая методика с использованием месячных проб, отсутствие привязки отбора осадков к наблюдениям за снежным покровом не позволяют получить необходимую информацию временного и пространственного содержания.

Исследование и картографирование загрязнения снежного покрова в г. Минске проводятся с середины 1971 г., химический состав снега на территории города обследовался в 1987–1988 гг. [2],

* Авторы статьи – сотрудники Института природопользования НАН Беларуси.

1992–1993 гг. [3], 1996 г. [4]. Полученные результаты показали, что необходимо совершенствовать методику оценки уровней атмосферных выпадений в городах по данным мониторинга атмосферных осадков и картографирования загрязнения снежного покрова с учетом характера его залегания в течение зимы, перераспределения загрязняющих веществ в толще снега в период оттепелей, газообмена между снежным покровом и атмосферным воздухом и другими факторами.

Для изучения различных аспектов химического состава атмосферных осадков и снежного покрова на урбанизированных территориях Институтом природопользования НАН Беларуси была создана постоянная площадка наблюдений в черте г. Минска.

Экспериментальная часть

Программа наблюдений за атмосферными осадками и снежным покровом включает отбор разовых и суммарных проб атмосферных осадков (до 2005 г. – преимущественно месячных проб, позже – недельных), определение их количества и химического состава, изучение динамики мощности снежного покрова в зимний период, исследование химического состава снеговых вод.

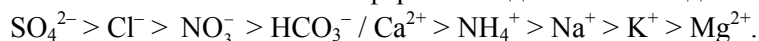
Пробы атмосферных осадков отбирались при помощи осадкомера NILU. Для изучения состава снежного покрова 2–3 раза в неделю в марте 2007 г. до начала интенсивного снеготаяния брались пробы на территории опытной площадки с помощью весового снегомера ВС-43. Для исключения влияния техногенных нагрузок, в частности автотранспорта, снег отбирался на расстоянии не менее 50 м от автодорог в относительно защищенных местах (парки, скверы, дворы домов). Была взята 21 проба снежного покрова объемом 1–3 дм³ каждая. Их предварительная обработка включала разделение жидкой и твердой фаз с помощью растапливания и фильтрования.

Для определения химического состава проб осадков и снежного покрова использовалось «Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89» [5], а для контроля качества проведенных измерений – руководство ЕМЕП [6].

Результаты и их обсуждение

Химический состав атмосферных осадков в 2007 г. Средняя минерализация атмосферных осадков в 2007 г. составила 9,7 мг/дм³ при минимальном значении 3,1 и максимальном – 21,1 мг/дм³. На территории Беларуси в 2007 г. она изменялась от 8,2 мг/дм³ в Березинском заповеднике до 31,6 мг/дм³ в Полоцке [7]. Средняя величина pH атмосферных осадков на опытной площадке составляла 6,2, в то время как ее среднегодовые значения в большинстве городов Беларуси в 2007 г. находились в пределах от 4,9 (Нарочь) до 6,7 (Новогрудок и Гродно).

Соотношение ионов в атмосферных осадках имело вид



Доля кислотообразующих ионов (SO_4^{2-} и NO_3^-) составила 24 % от их общей суммы ионов. В табл. 1 приведены среднегодовые концентрации основных элементов в атмосферных осадках.

Таблица 1

Статистические параметры основных макрокомпонентов атмосферных осадков на территории г. Минска в 2007 г.

Параметр	Макрокомпоненты, мг/дм ³							
	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Минимум	0,94	0,30	0,10	0,02	0,01	0,02	0,05	0,05
Максимум	11,40	3,15	3,55	2,61	2,20	3,80	2,40	1,09
Среднее	3,20	0,99	1,68	0,57	0,42	0,47	0,76	0,19
Стандартное отклонение	0,61	0,62	0,21	0,47	0,42	0,69	0,70	0,22
C _v , %	57	62	55	81	101	145	92	120

Выявлено, что с увеличением количества осадков минерализация снижается, наибольшее количество изучаемых ионов содержится в пробах кратковременных осадков.

Содержание нитрат- и сульфат-ионов в атмосферных осадках заметно увеличивается в холодное время года. Их минимальное количество приходится на июль – август. Динамика химического состава атмосферных осадков в течение года по результатам анализа недельных проб представлена на рис. 1.

Рассматривалось влияние типа осадков на концентрацию в них загрязнителей. Чтобы исключить сезонный фактор, исследовались пробы, взятые только в холодный период. Было отмечено увеличение концентрации ионов хлорида и натрия в твердых осадках, окисленной серы, нитратного и аммонийного азота, а также ионов калия – в дождевой воде (табл. 2).

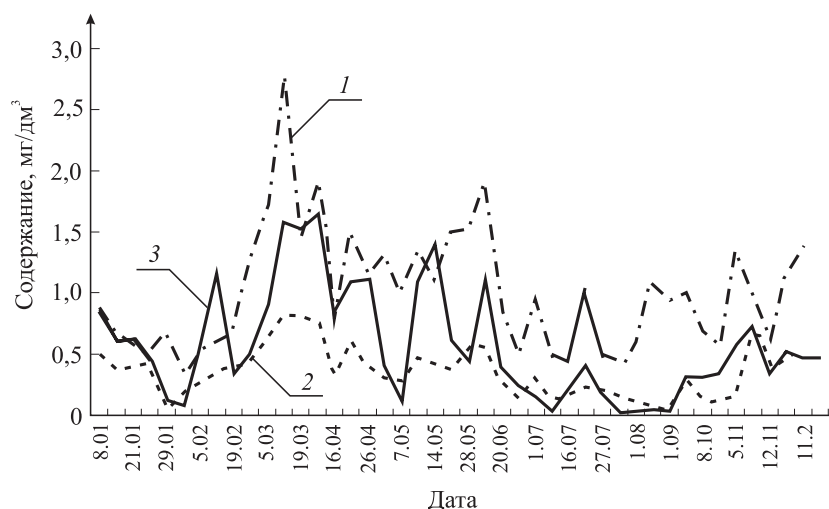


Рис. 1. Динамика содержания окисленной серы и соединений азота в составе атмосферных осадков на территории г. Минска в 2007 г.: 1 – SO_4^{2-} (S); 2 – NO_3^- (N); 3 – NH_4^+ (N)

Таблица 2

Химический состав атмосферных осадков разного типа, мг/дм³

	Ионы						рН
	SO_4^{2-} (S)	Cl^-	NO_3^- (N)	NH_4^+ (N)	Na^+	K^+	
Снег	0,86	1,86	0,53	0,80	1,03	0,19	5,68
Мокрый снег	1,83	1,79	0,84	1,25	0,68	0,23	5,6
Дождь	1,87	0,73	0,91	1,70	0,40	0,42	4,970

При сравнении состава атмосферных осадков в г. Минске и на станции комплексного фонового мониторинга (СКФМ) «Березинский заповедник» [7] выявлены наибольшие различия в содержании сульфат-, гидрокарбонат-ионов и ионов калия (рис. 2).

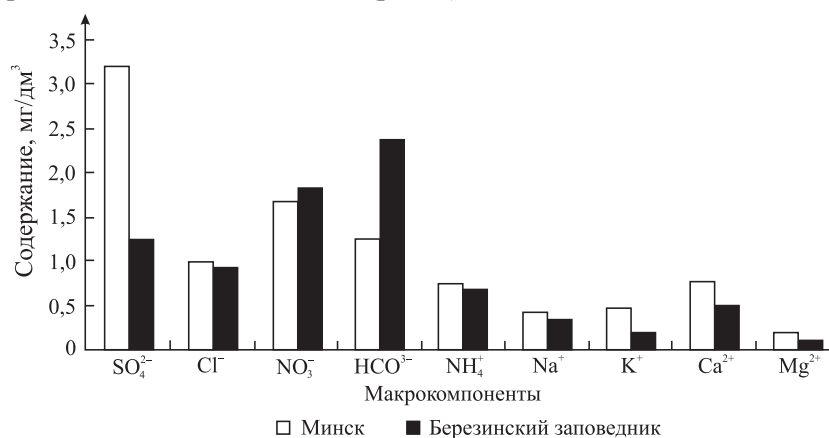


Рис. 2. Сравнительное содержание макрокомпонентов в атмосферных осадках на территории опытной площадки и в Березинском заповеднике в 2007 г.

Количество сульфат-ионов и ионов калия в атмосферных осадках в Минске в 2,5 раза выше, чем на СКФМ, ионов кальция и магния – в 1,6 раза, что указывает на значительное влияние местных источников на содержание данных компонентов. Концентрации ионов хлорида, нитратов, аммония и натрия в г. Минске близки по значениям к аналогичным показателям для Березинского заповедника.

Химический состав снежного покрова на стационарной площадке. Зима 2006–2007 гг. отличалась коротким периодом залегания снежного покрова (установился на территории опытной площадки 23 января, а полностью растаял 16 марта). Результаты исследования снежного покрова показали, что средняя величина его минерализации составила 7 мг/дм³, удельная электропроводность – 13,8 мкСм/см, рН – 5,7.

Содержание сульфат-ионов в снежном покрове на территории опытной площадки варьировалось от 0,9 до 3,3 мг/дм³ при средней величине 1,5 мг/дм³. Количество хлорид-ионов составило 1,8 мг/дм³,

что превысило среднегодовой показатель для атмосферных осадков примерно в 2 раза. Средняя концентрация ионов натрия в пробах снега ($0,8 \text{ мг/дм}^3$) также вдвое превышает среднегодовой показатель. Среднее значение содержания нитрат-ионов в снежном покрове равнялось $1,3 \text{ мг/дм}^3$, ионов аммония – $0,3 \text{ мг/дм}^3$.

Результаты опробования снежного покрова на территории г. Минска в марте 2007 г. Взвешенные вещества. Средняя концентрация взвесей в снежном покрове составила $29,6 \text{ мг/дм}^3$, максимальные ее значения, зафиксированные в 2007 г., – $88,4 \text{ мг/дм}^3$ (ул. Радиальная, у завода шампанских вин) и $85,7 \text{ мг/дм}^3$ (возле Минского завода отопительного оборудования). Средняя же концентрация взвесей в сезон 1976–1977 гг. составляла $161,1 \text{ мг/дм}^3$, в 1990–1991 гг. – $83,8 \text{ мг/дм}^3$, в 1992–1993 гг. – $201,1 \text{ мг/дм}^3$. По результатам опробования в 1996 г. среднее содержание взвесей достигало $24,5 \text{ мг/дм}^3$ [4], что близко к результатам 2007 г.

Сульфат-ионы. Среднее содержание сульфат-ионов в снежном покрове составляло $3,91 \text{ мг/дм}^3$ при коэффициенте вариации S_v , равном 31 %, что свидетельствует о достаточно однородном пространственном распределении содержания данного компонента. Такие же результаты были получены и в зимний период 1995–1996 гг. Выявлены лишь несколько точек повышенных концентраций (Минский завод отопительного оборудования, центр города и ОАО «Керамин») (табл. 3).

Таблица 3

Содержание основных ионов в снеговых водах на территории г. Минска, мг/дм^3

Год	Параметр	Ионы					
		SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NH_4^+	Na^+	K^+
1996	Среднее	2,92	2,37	0,41	0,63	0,41	0,87
	Минимум	1,32	0,24	0,26	0,04	0,08	0,08
	Максимум	6,83	55,23	0,57	0,78	2,30	32,20
	$S_v, \%$	32	276	17	22	374	100
2007	Среднее	3,93	4,69	1,46	0,56	2,71	0,32
	Минимум	1,18	1,28	0,45	0,20	0,43	0,02
	Максимум	7,00	10,89	2,65	1,31	6,60	0,82
	$S_v, \%$	31	60	39	52	64	78

Соединения азота. Среднее содержание нитрат-ионов в снеговой воде составило $1,5 \text{ мг/дм}^3$. Наибольшие их концентрации зафиксированы в микрорайоне Шабаны и по ул. Пономаренко – $2,7 \text{ мг/дм}^3$ (см. рис. 3). Пространственное распределение сульфат- и нитрат-ионов на территории города характеризуется незначительными коэффициентами вариации – 31 и 39 % соответственно.



Рис. 3. Распределение сульфатов и нитратов в снежном покрове г. Минска в марте 2007 г.: 1 – точка отбора; 2 – концентрация сульфат-ионов, мг/дм^3 ; 3 – концентрация нитрат-ионов, мг/дм^3

Содержание аммонийного азота для большинства точек опробования находилось в пределах от 0,3 до 0,7 мг/дм³. Повышенная его концентрация выявлена вблизи железнодорожного вокзала – 1,3 мг/дм³. Средний коэффициент вариации – 52 %.

Изменения химического состава снежного покрова в процессе снеготаяния. Для анализа динамики выноса химических веществ снежного покрова в период снеготаяния и оттепелей были рассчитаны их запасы на различные даты залегания. Расчет запаса (поверхностной плотности) загрязняющих веществ проводился на основе данных об их концентрации в снеге и среднем влагозапасе (табл. 4).

Таблица 4

Динамика запасов химических элементов в снежном покрове на постоянной площадке, мг/м²

Период с 23.01.07 по	Влагозапасы, мм	Ионы				
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ (S)	NO ₃ ⁻ (N)	NH ₄ ⁺ (N)	Na ⁺
29.01.07	14	38,12	5,69	5,61	3,41	20,35
05.02.07	33	58,63	12,10	8,17	7,79	17,97
12.02.07	44	84,96	12,54	11,42	9,69	27,75
26.02.07	51	93,83	9,72	15,38	10,65	45,96
12.03.07	28	19,07	4,28	1,88	2,18	0,56

Из табл. 4 видно, что с началом снеготаяния запасы многих веществ в снежном покрове убывают более быстрыми темпами, чем влагозапасы. Особенно это касается ионов хлорида, нитратов, аммония и натрия. Так, если с 26 февраля до 12 марта влагозапасы уменьшились на 44 %, то количество ионов натрия снизилось почти на 98 %, нитрат-ионов – на 88 %, хлорид-ионов – на 80 %, ионов аммония – на 78 %. В то же время количество сульфат-ионов и ионов калия в снежном покрове убывает соразмерно влагозапасам, а ионов кальция и магния даже медленнее. В среднем за этот период количество исследуемых веществ снизилось на 62 %.

* * *

Проведенные исследования позволили выявить обратную зависимость суммы ионов от количества атмосферных осадков. Содержание в них макрокомпонентов для Минска немногим отличается от показателей для Березинского заповедника (исключение составляют сульфат-, гидрокарбонат-ионы и ионы калия).

Опробование снежного покрова на территории г. Минска в 2007 г. показало, что пространственная структура загрязнения снежного покрова соединениями серы и азота нечеткая; не выявлены крупные аномалии, что свидетельствует об отсутствии значительных локальных источников аэриального поступления данных веществ.

В ходе сравнительного анализа химического состава снежного покрова г. Минска в 2007 и 1996 гг. установлено, что содержание основных закисляющих и эвтрофирующих соединений существенно не изменилось. В большей степени это касается ионов хлорида и натрия (увеличилось более чем в 2 раза), что в основном может быть связано с более интенсивным использованием противогололедных смесей в последние годы.

Выявлено, что при снеготаянии вынос загрязняющих веществ с тальми водами происходит неравномерно. Более быстрыми темпами уменьшается содержание хлорид-, нитрат-ионов, ионов аммония и натрия. Концентрации ионов калия и окисленной серы в этот период уменьшаются пропорционально изменению влагозапасов. Это необходимо учитывать при оценке уровней атмосферных выпадений по данным картографирования загрязнения снежного покрова.

1. Природная среда Беларуси / Под ред. В.Ф. Логинова. Мн., 2002. С. 118.
2. Лукашев В.К., Окунь Л. В. Загрязнение тяжелыми металлами окружающей среды г. Минска. Мн., 1996.
3. Какарека С.В., Хомич В.С. // Літасфера. 1995. № 3. С. 163.
4. Хомич В.С., Какарека С.В., Кухарчик Т.И. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Мн., 2004.
5. Руководство по контролю загрязнения атмосферы 52.04.186-89. М., 1991.
6. ЕМЕР manual for sampling and chemical analysis. Oslo, 2001.
7. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2007 г. / Под ред. В.Ф. Логинова. Мн., 2008.

Поступила в редакцию 04.04.09.

Сергей Витальевич Какарека – доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией.

Ольга Евгеньевна Белькович – аспирант. Научный руководитель – С.В. Какарека.

Вера Николаевна Чудук – научный сотрудник.