

УДК 551.577.13(476.2-2Гом)

## Химический состав атмосферных осадков Гомельского региона в 2001–2005 гг.

А. М. Будов

### Введение

Техногенное загрязнение атмосферы является одним из начальных этапов формирования всех типов поверхностного загрязнения экосистем. Загрязняющие вещества выпадают из атмосферы за счет процессов сухого и влажного осаждения.

Развитие промышленности приводит к резкому увеличению поступления в атмосферу кислотообразующих веществ. В различных регионах мира наблюдается значительное закисление атмосферных осадков в результате антропогенного воздействия человека, при этом среднегодовые значения рН осадков достигают 4,1-4,4, а в отдельных дождях – до 3,2. Это стимулировало развитие комплексных исследований в рамках национальных и международных проектов, результаты которых отражены в ряде обзоров и монографий [1-4].

Данные по химическому составу и величине рН атмосферных осадков, различного агрегатного состояния по исследуемому урбанизированному региону не приводились и имеются данные по единичным отборам снежного покрова. Целью настоящей работы являлось оценка возможности проявления проблемы кислотных выпадений на территории г. Гомеля и ближайшего пригорода. Такая оценка основана на обобщении экспериментальных данных по кислотности и химическому составу атмосферных осадков за 2001-2005 гг.

### Методика исследований

Отбор проб атмосферных осадков выполнялся с мая 2001 г. по март 2002 г (18 проб) и с августа 2003 г. по апрель 2005 г. (27 проб) - единичные атмосферные выпадения, а с апреля 2002 г. по март 2003 г. все осадки различного агрегатного состояния (снег, дождь, град, сильная морось). Исследования проводились на северной окраине г. Гомеля на специально оборудованной площадке с использованием осадкомера, исключающего попадание пыли и сухое осаждение веществ.

Кислотность проб снега определяли при помощи рН-метра – милливольтметра рН-150М, в течение суток после отбора [6]. Концентрацию анионов  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  и катионов  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  определяли с использованием системы капиллярного электрофореза “Капель-103Р” по стандартной методике. При различных диапазонах измерений данных анионов и катионов погрешность составляет от 10 до 20%. Концентрацию гидрокарбонат-иона определяли методом обратного титрования избытка соляной кислоты раствором тетробората натрия. По метрологическим результатам исследования, при определении массовой концентрации гидрокарбонат-ионов в пробах атмосферных осадков в диапазоне 0-50 мг/дм<sup>3</sup> суммарная погрешность не превышает 15% [5].

### Результаты и обсуждение

В отличие от химически чистой воды атмосферные осадки в естественных условиях всегда содержат различные примеси, влияющие на рН. Благодаря наличию в атмосфере углекислого газа рН даже очень чистых осадков бывает близким к 5,6. В незагрязненной атмосфере могут присутствовать кислотообразующие вещества естественного происхождения,

вследствие чего за нижний предел естественного закисления принята величина  $pH=5,5$ . Во всяком случае,  $pH$  атмосферных осадков, превышающая величину 5,8, свидетельствует не о закислении, а о защелачивании [4].

Следует отметить, что осадки вымывают из атмосферы как кислотные, так и щелочные примеси, поэтому в случае их соизмеримого количества происходит нейтрализация осадков уже на момент их выпадения, и значения  $pH$  становятся равными 5,2-5,8. В результате имеет место существенная минерализация осадков при значениях  $pH$ , близких к нейтральным [2].

Результаты определения  $pH$  отобранных проб атмосферных осадков приведены в таблице 1; в таблице 2 - результаты статистической обработки концентраций анионов и катионов за исследуемый период.

Таблица 1.

Величины  $pH$  осадков в Гомельском регионе в 2001-2005г.

Период отбора	Кол-во проб	Среднее	Медиана	Min	Max	25% квантиль	75% квантиль
1.05.01-1.03.02	18	5,60±0,34	5,58	5,41	6,00	5,54	5,68
1.04.02-1.05.02	5	5,66±0,23	5,61	5,39	6,00	5,56	5,74
1.05.02-1.06.02	7	5,61±0,18	5,60	5,35	5,91	5,49	5,71
1.06.02-1.07.02	6	5,83±0,29	5,81	5,48	6,22	5,62	6,04
1.07.02-1.08.02	4	5,58±0,14	5,62	5,39	5,69	5,48	5,69
1.08.02-1.09.02	6	5,61±0,32	5,61	5,10	6,07	5,54	5,76
1.09.02-1.10.02	8	5,65±0,12	5,63	5,49	5,90	5,60	5,69
1.10.02-1.11.02	9	5,66±0,11	5,61	5,48	5,80	5,60	5,75
1.11.02-1.12.02	5	5,96±0,17	6,01	5,68	6,10	5,95	6,05
1.12.02-1.01.03	4	6,04±0,07	6,02	5,99	6,14	6,00	6,08
1.01.03-1.02.03	5	5,99±0,08	5,98	5,88	6,10	5,97	6,00
1.02.03-1.03.03	5	5,96±0,11	5,97	5,79	6,10	5,96	6,00
1.03.03-1.04.03	5	5,61±0,05	5,61	5,55	5,67	5,58	5,65
1.08.03-1.04.05	27	5,71±0,22	5,68	5,25	5,95	5,52	5,66

За исследуемый период существенных отличий величин  $pH$  атмосферных осадков, выпадающих как в летний, так и в зимний период на территории пригорода г. Гомеля не обнаружено. Из полученных данных следует, что только в пятнадцати случаях выпавшие осадки могут быть признаны кислотным (13% от общего количества выпадений, при нижнем пределе закисления 5,10); 43 выпадений или 38% - имеют характеристики чистых осадков -  $pH=5,5-5,6$ ; а 56 или 49% - являются слабыми щелочными -  $pH>5,6$ , при этом ни одно значение  $pH$  осадков не превышало величины 6,22.

Таким образом, выпадения кислотных осадков в течение года в данном урбанизированном регионе не наблюдается. Имели место единичные выпадения кислотных осадков как летом, так и зимой, при интенсивном выпадении после длительного засушливого периода.

Однако не только  $pH$  атмосферных осадков может оказывать влияние на экологическую ситуацию в регионе. Существенное значение имеет и химический состав дождевых и снеговых вод, в первую очередь – вклад основных кислотообразующих анионов и нейтрализующих их катионов в общую минерализацию осадков. Определение содержания основных анионов  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$  в атмосферных выпадениях показало, что не существует временной закономерности их содержания. Вклад в минерализацию анионной компоненты (мг/л) осадков для нитрат-иона колебалось от 3 до 61%, хлорид-иона – от 7 до 54% и сульфат иона – от 8 до 25%. В порядке убывания вклада в минерализацию анионный состав можно представить в виде следующего ряда: нитрат→сульфат→хлорид.

Для содержания основных анионов катионов в атмосферных выпадениях также не обнаружено временной закономерности. Величина вклада в минерализацию осадков для натрия

и калия колебалась от 25 до 51%, магния и кальция 18 – 74%. Суммарный вклад данной группы катионов составлял от 56 до 98%. Было обнаружено высокое содержание иона аммония - от 2 до 43% от общего содержания катионов с превышением содержания по сравнению с фоновыми значениями в 2-8 раз [1].

Таблица 2.

## Средние концентрации анионов и катионов в атмосферных осадках, мг/л

Период отбора	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup> +Ca <sup>2+</sup>
1.05.01-1.03.02	5,04	2,11	6,14	9,27	4,28	2,01	19,67	14,68	11,02
1.04.02-1.05.02	3,76	5,20	4,99	11,60	4,44	1,57	6,88	16,15	8,91
1.05.02-1.06.02	4,53	2,85	5,85	13,48	7,25	2,09	11,23	14,29	5,63
1.06.02-1.07.02	18,91	0,18	6,48	1,04	6,39	2,24	22,63	30,68	20,16
1.07.02-1.08.02	5,60	0,26	5,64	8,52	3,97	2,35	5,20	9,65	9,70
1.08.02-1.09.02	7,11	следы	8,92	15,06	6,77	4,68	6,17	7,94	9,92
1.09.02-1.10.02	2,24	0,06	3,08	5,16	8,04	2,11	3,82	5,94	6,19
1.10.02-1.11.02	2,39	0,03	5,29	18,59	7,84	2,37	2,42	4,18	10,44
1.11.02-1.12.02	12,37	1,16	7,04	10,13	7,11	2,28	0,54	7,38	22,16
1.12.02-1.01.03	6,70	0,41	19,74	52,75	5,25	1,35	0,94	16,73	27,85
1.01.03-1.02.03	4,84	0,11	11,64	23,97	4,46	1,75	1,04	6,59	8,97
1.02.03-1.03.03	3,48	1,61	3,32	2,93	5,65	0,31	1,64	3,37	4,42
1.03.03-1.04.03	5,76	1,18	5,90	3,48	7,96	0,70	2,94	5,91	6,68
1.08.03-1.04.05	5,04	0,95	6,34	8,48	4,51	2,12	4,35	5,80	7,14

Полученные данные свидетельствуют о том, что ежегодно на 1м<sup>2</sup> поверхности Гомельской городской агломерации и ближайшего пригорода поступает около 35г различных солей, растворенных в 600 – 605 литрах воды с pH = 5,7 – 5,9. Среднегодовой солевой состав атмосферных выпадений следующий: Cl<sup>-</sup> - 2175 мг или 3,56 мг/л; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - 3159 мг или 5,20 мг/л; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - 4481 мг или 7,38 мг/л; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> - 6681 мг или 11,01 мг/л; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - 5849 мг или - 5849 мг; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - 2930 мг или - 2930 мг; K<sup>+</sup> - 2357 мг или 3,88 мг/л; Na<sup>+</sup> - 2194 мг или 3,61 мг/л; Mg<sup>2+</sup> - 683 мг или 1,12 мг/л; Ca<sup>2+</sup> - 4069 мг или 6,70 мг/л.

Повышенное содержание основных кислотообразующих анионов (в 2-4 раза больше фоновых) полностью нейтрализуется ионом аммония и литофильными катионами. Расчетные величины pH осадков, при сравнении эквивалентов анионов и катионов, на 1-2 единицы выше, чем полученные экспериментальным путем. Фактором повышения кислотности осадков могут быть летучие органические вещества, трансформирующиеся в атмосфере в кислоты.

### Заключение

По валовому содержанию катионов и анионов в атмосферных осадках, а также величинам поступления солей на единицу площади г. Гомель и прилегающие районы относятся к высокоурбанизированной территории.

Средняя величина pH атмосферных осадков, выпадающих в различный период года колеблется в районе 5,7-5,9, т.е. осадки имеют нейтральную реакцию. При этом повышенное среднее содержание основных кислотообразующих анионов (в 2-4 раза больше фоновых) полностью нейтрализуются ионом аммония и литофильными катионами (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>), которые не имеют летучих форм и должны быть вынесены с наземной поверхности или от выбросов промышленных предприятий.

**Abstract.** The paper shows that fallouts of acid precipitation have not been observed during the year in Gomel region. About 35 g different salts, soluble in 600–605 litres of water with pH = 5,7–5,9 precipitate annually on 1 sq.m of surfaces in Gomel city and nearby suburbs. Increased contents of anions are completely neutralized by the ion-ammonium and ions of metals.

## Литература

1. Г. Е. Зайков, Н. А. Маслов, В. Л. Рубайло, *Кислотные дожди и окружающая среда*. Москва, Химия, 1991.
2. Ю. А. Израэль, И. М. Назаров и др., *Кислотные дожди*, Ленинград, Гидрометеоиздат, 1989.
3. Л. Е. Ченяева, А. М. Черняев, А. К. Могилевских, *Химический состав атмосферных осадков (Урал и Приуралье)*, Ленинград, Гидрометеоиздат, 1978.
4. *Кислотные выпадения. Долговременные тенденции* / Пер. с англ. Под ред. Ф. Я. Ровинского, В. И. Егорова, Ленинград, Гидрометеоиздат, 1990.
5. РД 52.04.86-89. (руководящий документ). *Методические указания по определению химического состава осадков*, Руководство по контролю загрязнения атмосферы, Ленинград, Гидрометеоиздат, 1991.
6. Р. Ф. Лавриненко, *Осреднение значений рН атмосферных осадков с учетом щелочных и кислотных компонентов их состава*, Мониторинг фонового загрязнения природных сред, Ленинград, Гидрометеоиздат, Вып. 6 (1990), 130–139.

Гомельский государственный  
университет им. Ф. Скорины

Поступило 8.09.05

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ