

УДК 550.4:504.5(476)

Ю. Г. КОКОШ, М. А. КУДРЕВИЧ

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: y-kokosh@mail.ru

ВНУТРИГОДОВАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ ИОНОВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ НА ТЕРРИТОРИИ Г. МИНСКА (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ 2022 Г.)

Заметная роль в процессе формирования окружающей среды принадлежит атмосферным осадкам. Изучение их химического состава является удобным методом мониторинга атмосферных загрязнений, что позволяет оценить источники антропогенного загрязнения локального и трансграничного происхождения, а также метеорологические условия, способствующие формированию химического состава атмосферных осадков.

Химический состав атмосферных осадков на урбанизированных территориях определяется предшествующими и сопутствующими метеорологическими условиями, скоростью и направлением ветра, длительностью выпадения, а также зависит от пространственной изменчивости осадков, обусловленной рельефом и шероховатостью местности.

Объекты и методы. С 1999 г. Институтом природопользования организована площадка наблюдения за химическим составом атмосферных осадков и снежного покрова. Экспериментальная площадка располагается в черте г. Минска на территории института.

Задачи наблюдений – изучение динамики компонентов химического состава атмосферных осадков во взаимосвязи с метеоусловиями, оценка интенсивности атмосферных выпадений.

Отбирались суммарные и единичные пробы атмосферных осадков. Суммарная проба включала осадки, объединенные за некоторый промежуток времени: месяц, неделю, сутки. Основной период, за который отбирались пробы осадков, в соответствии с рекомендациями Программы ЕМЕП – неделя.

Опробование атмосферных осадков проводилось при помощи осадкомера конструкции NILU. Для исключения значительного влияния испарения в период накопления пробы в теплое время года использовался летний вариант осадкосборника.

В водных пробах выполнено определение основных ионов. При проведении химических испытаний проб осадков использованы действующие технические нормативные правовые акты Республики Беларусь (ТНПА) и методики выполнения измерений (МВИ), прошедшие аттестацию

и предназначенные для применения в сфере законодательной метрологии, а также средства измерения и испытательное оборудование, прошедшее поверку и калибровку. Контроль качества выполненных измерений выполнялся также на основе вычисления ионного баланса [1].

Общие гидрохимические показатели определялись в большинстве проб. В пробах атмосферных осадков объемом менее 50 мл определены только значения рН и удельной электропроводности.

Обработка данных и результаты. За период исследований с 1999 по 2022 г. на экспериментальной площадке во дворе Института природопользования НАН Беларуси отобрана и проанализирована 821 проба атмосферных осадков, в том числе в 2022 г. – 39 проб.

Средний объем пробы составил 668,1 мм. Самым сухим месяцем был март, за который на экспериментальной площадке выпало 6,2 мм осадков, что соответствует данным в среднем по Беларуси (6,4 мм осадков). Наибольшая сумма осадков на площадке отмечена в июле – 123,6 мм – и апреле – 99,4 мм [2].

Статистические характеристики содержания основных ионов, рН, электропроводности атмосферных осадков на постоянной площадке в 2022 г. приведены в таблице.

Таблица – Статистические параметры гидрохимического состава атмосферных осадков на постоянной экспериментальной площадке Института природопользования НАН Беларуси в 2022 г., мг/дм³

Параметр	SO ₄ ²⁻ (S)	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ (N)	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺ (N)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сумма ионов	рН	Электро- провод- ность, мкСм/см
Среднее	0,39	1,94	0,24	4,63	0,38	1,01	1,32	1,19	0,28	11,26	6,44	31,89
Медиана	0,25	1,71	0,21	2,87	0,26	0,65	0,45	0,96	0,19	8,38	6,28	21,70
Стандарт- ное откло- нение	0,54	1,43	0,17	9,19	0,37	1,08	2,82	1,39	0,37	13,93	0,45	34,91
Дисперсия выборки	0,29	2,04	0,03	84,47	0,13	1,16	7,93	1,93	0,14	194,03	0,20	1218,66
Минимум	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	5,87	3,14
Максимум	2,23	7,08	0,62	52,48	1,48	4,94	15,83	8,02	1,94	82,54	7,68	162,80
Счет	37	34	35	32	36	33	33	32	30	33	39	38

Средняя минерализация атмосферных осадков на постоянной экспериментальной площадке в 2022 г. составила 11,3 мг/дм³, что находится приблизительно на одном уровне с показателями 2021 г. (10,5 мг/дм³). Минимальное значение минерализации (0,48 мг/дм³) обнаружено в недель-

ной пробе за период 26.09–03.10.2022, максимальное ($82,5 \text{ мг/дм}^3$) в пробе за 16.05–23.05.2022. Разброс полученных значений минерализации проб атмосферных осадков довольно высок и составил 124 %.

Значения удельной электропроводности в 2022 г. варьировали в пределах 3,1–162,8 мкСм/см. Минимальные показатели электропроводности характерны для периода с 06.07 по 12.07.2022 и 26.09 по 03.10.2022, максимальные – в пробах за периоды 28.03–04.04.2022 и 16.05–23.05.2022. Среднее значение показателя удельной электропроводности составило 31,9 мкСм/см. Вариабельность значений высокая – 110 %.

За период наблюдений с 2005 по 2022 г. среднее значение рН недельных проб атмосферных осадков постоянно превышало равновесную величину для атмосферных осадков (5,6) и составило 6,44 с диапазоном колебаний 5,87–7,68. Вариабельность значений рН низкая – 7 % [3].

Большинство полученных значений концентраций основных ионов в пробах атмосферных осадков на постоянной площадке также обладают высокой вариабельностью значений (73–213 %). Наибольшая вариабельность значений в 2022 г. была характерна для содержания калия (213 %) и гидрокарбонатов (198 %); меньшие отклонения от среднего характерны для азота нитритного (73 %) и хлоридов (74 %).

Анализ зависимости содержания гидрокарбонатов в пробах осадков в 2022 г. от рН выявил четкую положительную корреляцию ($R^2 = 0,44$). Как можно заметить, при повышении концентрации гидрокарбонатов в осадках кислотность их понижается.

Сезонная динамика содержания основных макрокомпонентов в атмосферных осадках. На рисунке представлены динамики содержания соединений серы и азота в атмосферных осадках в 2022 г. (а). Для всех трех ионов наблюдается схожая тенденция увеличения и снижения концентраций внутри года.

Во внутригодовой динамике наиболее низкие значения концентраций ионов серы и азота в осадках приходятся на теплый период года. Это согласуется с максимальным количеством выпавших осадков в этот период. Так, в 2022 г. их минимальные значения отмечены в июле – октябре. Наиболее высокие концентрации серы и азота в 2022 г. фиксировались весной (март и апрель) и в ноябре – декабре.

Наибольшие концентрации гидрокарбонатов, калия, кальция и магния фиксировались в мае и августе, хлоридов и натрия – в январе и феврале 2022 г. (рисунки, б).

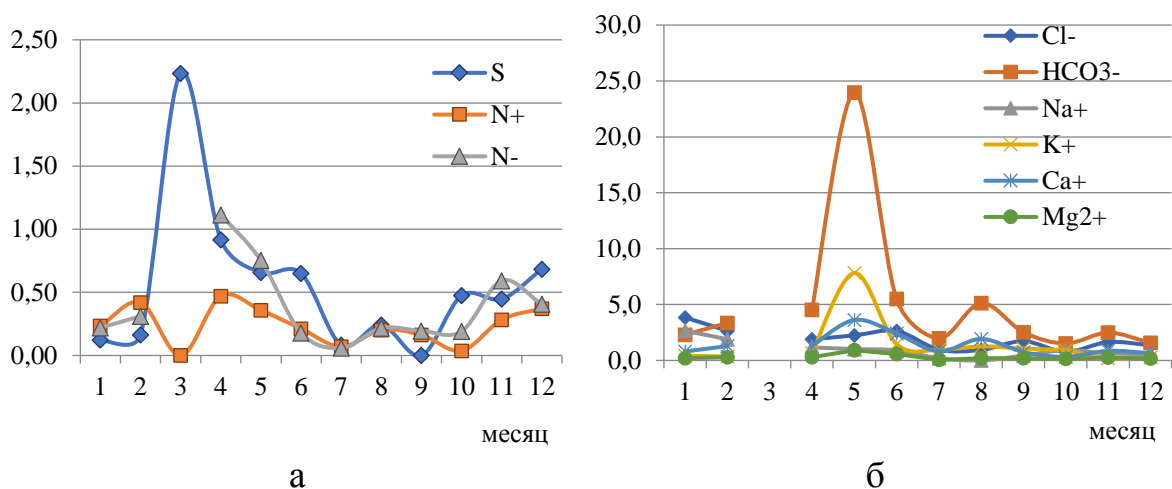


Рисунок – Внутригодовая динамика содержания а) соединений серы ($\text{мгS}/\text{дм}^3$) и азота ($\text{мгN}/\text{дм}^3$), б) гидрокарбонатов, хлоридов, натрия, калия, кальция и магния ($\text{мг}/\text{дм}^3$) в пробах атмосферных осадков на экспериментальной площадке в 2022 г.

Заключение. Показатели химического состава проб атмосферных осадков, отобранных на постоянной экспериментальной площадке института в 2022 г., в целом соответствовали выявленным ранее трендам. Так, несмотря на особенности 2022 г., за период исследований с 2002 по 2022 г. на территории г. Минска сохраняется тенденция к росту кислотности осадков, сочетающаяся с сокращением содержания серы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. EMEP manual for sampling and chemical analysis. Norwegian Institute for Air Research, 1996. European Sustainable Cities : Report by the Expert Group on the Urban Environment. – Brussels, 1996. – 306 p.
2. Ежегодник состояния атмосферного воздуха. 2022 год [Электронный ресурс] // Химический состав атмосферных осадков. – Режим доступа: <https://rad.org.by/articles/vozduh/ezhegodnik-sostoyaniya-atmosfernogo-vozduha-2022-god/himicheskiy-sostav-atmosfernyh-osadkov>. – Дата доступа 12.08.2023.
3. Какарека, С. В. Тренды содержания закисляющих и эвтрофирующих соединений в атмосферных осадках на урбанизированной территории / С. В. Какарека, Ю. Г. Кокош, М. А. Кудревич // Докл. НАН Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 6. – С. 724–733.