

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАССИВНЫХ ПЫЛЕАЭРОЗОЛЬНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА  
(НА ПРИМЕРЕ ОБСЕРВАТОРИИ «ФОНОВАЯ»)**

**В.С. Бучельников**

Научные руководители: профессор Е.Г. Язык<sup>1</sup>, доцент А.В. Таловская<sup>1</sup>,  
доцент М.П. Тентюков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар, Россия

Рост масштабов атмосферного загрязнения – одно из наиболее опасных последствий деятельности человека, влияющего на региональный и глобальный климат. Изучение динамики региональных изменений в атмосфере Земли является одной из важнейших задач. Проблема контроля содержаний органических и неорганических загрязнений с целью оценки качества компонентов природной среды на сегодняшний день является крайне важной. В связи с этим возникает необходимость управления качеством окружающей среды, в первую очередь – получения информации о фактическом состоянии окружающей среды путем проведения мониторинговых исследований.

В настоящее время значительные усилия сосредоточены на развитии надежных методов отбора и подготовки проб, в то же время являющихся максимально простыми и доступными. Применение активных методов отбора требует большого количества проб в заданной точке, временных и финансовых затрат.

Методы пассивного отбора характеризуются подобной эргономичностью и включают в себя измерения концентраций определенных компонентов в виде оценки среднего содержания в течение всего периода отбора. Пассивные методы отбора проб применяются при оценке содержаний различных органических и неорганических загрязнителей в газовой, жидкой и почвенной средах, и вполне могут быть эффективной альтернативой уже существующих методов, либо их дополнением.

Цель работы – оценить результаты применения аэрозольной пассивной станции на фоновом участке в различные периоды времени путем сравнения химического состава фильтров, помещенных в отборники.

Осенью 2016 года на обсерватории «Фоновая» Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН была создана площадка для пассивного сбора сухих аэрозольных выпадений. Сбор аэрозоля осуществлялся с помощью специальных устройств – импульвераторов [1].



*Рис. Установка для пассивного пробоотбора*

Установка включала в себя 160 импульвераторов, в каждый из которых помещался сорбент – 4 бумажных фильтра типа «белая лента». Отбор аэрозольного материала осуществлялся в течение трёх сезонов: осеннего (с 6.09 по 8.11.2016 г.), зимнего (с 8.11.2016 г. по 4.03.2017 г.) и весеннего (с 4.03 по 1.06.2017г.). После этого была проведена замена фильтров и отбор аэрозольного материала продолжался до начала декабря 2019 года.

Из снятых фильтров готовились кислотные вытяжки, а из проб, отобранных в период 2016-2017 гг. готовились водные вытяжки. Химический анализ осуществлялся методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в ООО «Химико-аналитический центр «Плазма»» (г. Томск). Для оценки влияния состава самих фильтров готовились вытяжки из незагрязненных фильтров.

Поскольку содержания элементов могут различаться на порядки, согласно [1, 2] был проведен расчет коэффициентов аэрозольной аккумуляции по формуле (1):

$$A_{\text{золь}} = \frac{c_i}{C_i}, \quad (1)$$

где  $c_i$  – содержание  $i$  элемента в экспонированной пробе;  $C_i$  – среднее содержание этого же элемента в эталоне (в качестве эталона используется химический состав чистых фильтров).

Кроме того, для сравнения водных и кислотных вытяжек выполнялся расчет модулей аэрозольного обогащения по формулам (2,3):

$$\left( M_{\text{золь}}^{\text{в}} = \frac{A_{\text{золь}}^{\text{в}}}{A_{\text{золь}}^{\text{к}}} \right), \quad (2) \quad \text{или} \quad \left( M_{\text{золь}}^{\text{к}} = \frac{A_{\text{золь}}^{\text{к}}}{A_{\text{золь}}^{\text{в}}} \right), \quad (3)$$

где  $M$  – модуль аэрозольного обогащения водной/кислотной вытяжки,  $A_{\text{в}}$  – коэффициент аэрозольной аккумуляции водной вытяжки,  $A_{\text{к}}$  – коэффициент аэрозольной аккумуляции кислотной вытяжки.

Значения коэффициентов при сезонных отборах показали, что для элементов в обоих типах вытяжек характерны сезонные изменения химического состава. Вытяжки характеризуются обогащением некоторыми элементами в течение всех трёх сезонов. Некоторые элементы накапливаются в обоих типах вытяжек, что говорит о поступлении как водо-, так и кислоторастворимых форм данных элементов в течение периодов отбора.

Модуль аэрозольного обогащения водных вытяжек характеризуются наибольшими значениями в осенний период таких элементов как Na, Sm, Gd, Yb, Sc; в зимний период максимальные значения имеют большинство макроэлементов, а также Dy, Mn, Zn, Ga, Se, Sr, In, Cs, Ba; в весенний период La, Ce, Eu, Th, U, Zr, Hf, Ta, Bi.

В кислотных вытяжках наибольшие значения модуля в осенний период характерны для Al, La, Ce, Pr, Eu, Tb, Tm, Th, Ni, Nb, Sn W. В зимний период максимальные значения имеют: Si, P, K, Ca, Yb, U, Li, Cr, Cu, Sr, Zr, In, Hf, Ta. Весенний период характеризуется максимальными значениями модуля таких элементов как Na, Ti, Nd, Er, Lu, Sc, V, Ge, As, Mo, Sb, Pb.

В последующем значения коэффициентов аэрозольной аккумуляции кислотных вытяжек за 3 сезона были просуммированы для возможности сравнения с результатами отбора проб за общий период с июня 2017 по декабрь 2019. Наибольшие значения суммарного коэффициента имеют следующие элементы: Zn, Cd, Se, Sb, Bi, Al, Tl, Ni, Ba, Pb, La, Nd. Согласно [3] Na, Sm, Yb, Ba, Sr, La, Ta, Th, U являются элементами-индикаторами работы предприятий теплоэнергетики, использующие уголь в качестве топлива (тепловые электростанции, котельные).

Максимальные значения коэффициента аэрозольной аккумуляции кислотных вытяжек для проб фильтров (за общий период с июня 2017 по декабрь 2019 гг.) имеют Zn, Sc, Tl, Sb, Cs, Pb, Ga, Cd, Ce, Nd, Pr.

Следует отметить, что значения суммарного коэффициента по трём сезонам для всех элементов значительно превышают аналогичные пробы с непрерывным периодом накопления для кислотных вытяжек. Например, для цинка суммарный коэффициент за три сезона равен 57,17, в то время как в пробе 2017-2019 гг. он составляет 49,1. Кроме того, при суммировании коэффициентов аэрозольной аккумуляции за три сезона, для 58 элементов его значение больше или равно 1, в то время как для пробы с непрерывным периодом накопления аэрозоля это характерно для 34 элементов.

Вероятно, такие различия связаны с тем, что во время сезонных отборов все импульвераторы оставались целыми, но, находясь на открытой площадке и подвергаясь воздействию прямых солнечных лучей и ряда других факторов, через некоторое время после начала эксперимента по отбору аэрозоля в течение длительного периода, началось их разрушение, и к моменту их снятия в декабре 2019 г. практически не осталось неповрежденных контейнеров, за счет чего фильтры внутри подвергались воздействию не только ветров, но и осадков, что способствовало вымыванию вещества, накопленного в них.

Таким образом, сравнивая результаты водо- и кислоторастворимых фракций сухих аэрозольных выпадений в течение трёх сезонов, видно, что прослеживаются сезонные изменения обеих фракций. Максимальные значения большинства элементов приходятся на зимний и весенний периоды, в частности, в это время наблюдается рост значений для элементов-индикаторов выбросов предприятий теплоэнергетики: Na, Sm, Yb, Ba, Sr, La, Ta, Th, U, что сохранилось и при проведении долговременных исследований аэрозоля методом пассивного отбора. При этом, стоит отметить, что импульвераторы с течением времени начинают разрушаться, что сказывается на качестве отобранных материалов, и для дальнейшего проведения подобных исследований необходимо либо периодически проводить их замену, либо использовать другие виды пробоотборников.

#### Литература

1. Способ выявления кислотного загрязнения приземного слоя атмосферы в зимний период и устройство для его осуществления: Пат. 2502059. Россия, МПК G 01 N 1/22. Тентюков М.П.: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН. № 2012139298/04.
2. Способ и устройство для экспонирования контейнеров для сбора сухих аэрозолей на беспесных территориях: Пат. 2459191. Россия, МПК, G 01 N 1 /22. Тентюков М.П.: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН. № 2010150949/05.
3. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: Автореф. ... д-р геол.мин. наук. Томск: Том. политехн. ун-т, 2006. – 47 с.