

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА  
АЭРОЗОЛЯ В Г. МОСКВА И Г. ЧЕЛЯБИНСК**

**Антонова В.М.<sup>1,2</sup>**

Научные руководители доцент Таловская А.В.<sup>1</sup>, с.н.с. Губанова Д.П.<sup>2</sup>

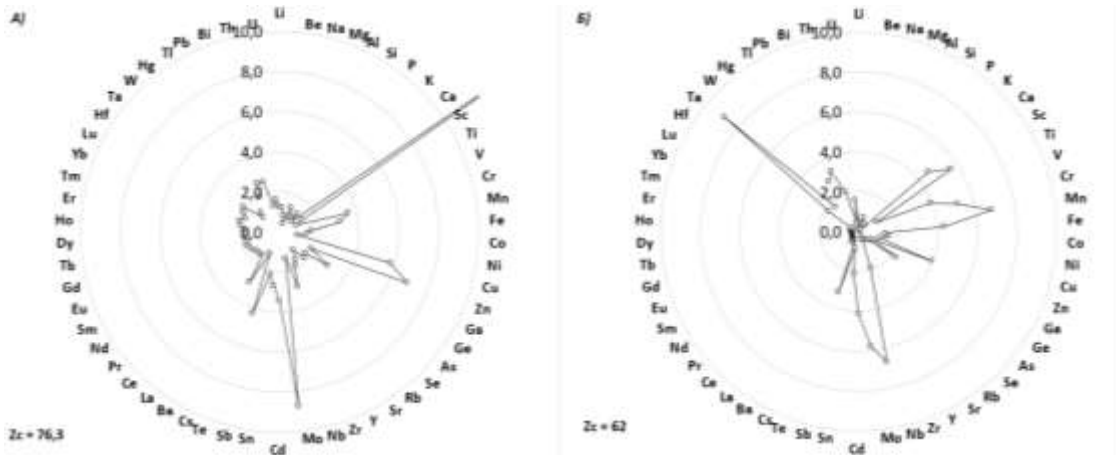
<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

Большинство загрязняющих веществ, которые могут оказывать токсическое действие на живые организмы, поступают в воздух из антропогенных источников. Такой вид загрязнения характерен для крупных промышленных центров [2], к числу которых относятся самый большой мегаполис Европы – г. Москва и один из мощных промышленных городов РФ – г. Челябинск. Последний расположен на восточных склонах Уральских гор, на реке Миасс. К основным предприятиям города, функционирующим на настоящий момент, можно отнести электрометаллургический комбинат, цинковый завод, трубопрокатный завод и металлургический комбинат, а также предприятия энергетической отрасли.

Одним из основных индикаторов антропогенного загрязнения воздуха крупного промышленного центра является состав атмосферного аэрозоля. В настоящей работе рассмотрены результаты сравнительного анализа химического состава приземного аэрозоля в Челябинске и Москве по данным элементного анализа аэрозольных проб и проб твердого осадка снега и снеготалой воды. В Челябинске пробы снежного покрова были отобраны в январе 2022 года в зоне влияния металлургического завода и теплоэлектростанции. Пробоотбор производился через каждые 500–600 метров, с удалением от границы предприятия, с учетом преобладающего направления ветра с юга на север. Также фоновые пробы были отобраны на расстоянии 40 км от черты города в южном направлении. Отбор и подготовка проб осуществлялись по методическим рекомендациям ИМГРЭ и МГУ [6, 8]. Пробы снега растапливались при комнатной температуре и далее раствор фильтровался через бумажные фильтры типа «синяя» лента. Поскольку наибольшее индикационное значение имеют количество и химический состав твердых частиц в снеге, то их содержание определялось только в твердом осадке снега, который содержит аэрозоли, осевшие из атмосферы в снеговой покров. Элементный анализ твердого осадка снега проводился масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в ХАЦ «Плазма» (г. Томск).

Одним из показателей уровня аномальности содержаний элементов является коэффициент концентрации ( $K_c$ ), который рассчитывается как отношение содержания элемента в твердом осадке снега к его фоновому содержанию [6, 8]. Если  $K_c$  больше 1,5 – это указывает на локальный источник загрязнения. Ниже приведены графики (рис.), иллюстрирующие коэффициент концентрации в твердом осадке снега для проб, отобранных в зонах влияния предприятий г. Челябинск. На графиках также указан суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ). Поскольку антропогенные аномалии чаще всего имеют полиэлементный состав, для них рассчитывается суммарный показатель загрязнения –  $Z_c$  [6, 8]. Суммарный показатель загрязнения для ТЭЦ равен 76,3, который указывает на среднюю степень загрязнения и умеренно опасный уровень заболеваемости [8]. Суммарный показатель загрязнения для ЧМК равен 62 – низкая степень загрязнения, неопасный уровень заболеваемости.



**Рис. Графики коэффициентов концентрации в твердом осадке снега из районов расположения теплоэлектростанции (А) и металлургического комбината (Б)**

Из рис. видно, что высокий  $K_c$  (концентрация элемента от 6 до 18 раз превышает фоновое значение) для проб, отобранных в зоне влияния ТЭЦ, характерен для таких элементов, как Zr, Mo и Sc. Для проб, отобранных в зоне влияния металлургического комбината высокий коэффициент концентрации имеют Mn, Nb и Ta. С помощью кластерного анализа, проведенного по методу Варда (значимый уровень корреляции принят равным 0,12), можно увидеть с какими элементами ассоциированы те из них, которые имеют высокий коэффициент концентрации. Для проб твердого осадка снега, отобранных в зоне влияния ТЭЦ, цинк и молибден входят в следующую ассоциацию элементов: Sb-Cd-Pb-Mn-Zn-Sn-Cu-Bi-W-Mo-Fe-Cr, а скандий связан с Zr-Co-Sc-Be. В зоне влияния металлургического комбината элементы с высоким  $K_c$  ассоциированы следующим образом: марганец связан с германием, тантал с ванадием, а ниобий входит в ассоциацию Hf-Zr-Nb-Y-Ca.

По результатам сравнения двух выборок тестами Колмогорова-Смирнова определено, что высокие концентрации лития, берилла, натрия, алюминия, кремния, калия, меди, галлия, мышьяка, рубидия, стронция, иттрия, бария, сурьмы и тория характерны для проб, отобранных в зоне влияния ТЭЦ, тогда как кальция, ванадия, железа, ниобия, тантала – в зоне влияния металлургического комбината.

Зимой 2020 года в рамках исследования от ЮУрГУ в пяти районах Челябинска также были отобраны пробы аэрозольных частиц, которые анализировались на сканирующем электронном микроскопе. Одна из точек находилась в жилом районе, восточнее металлургического комбината, там, по результатам исследования, отмечены Fe-, Zn-, Mn-Fe-содержащие частицы, которые также найдены и нами в твердом осадке снегового покрова. В публикации отмечают, что Mn-Fe-содержащие частицы относятся к техногенным, источником которых является производство ферросплавов. Цветная металлургия является источником Zn-содержащих частиц [4].

Для сопоставления уровня антропогенной нагрузки в развитом индустриальном центре Южного Урала и в крупнейшем в Европе Московском мегаполисе были привлечены данные комплексного эксперимента по изучению изменчивости физико-химических параметров приземного аэрозоля, реализуемого в Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН [1], в Центральном административном округе города, а также сведения о составе снегового покрова в Восточном административном округе (ВАО) Москвы [3, 6]. Центральный округ Москвы отличается повышенным автомобильным трафиком, и небольшим количеством промышленных предприятий [7]. Основным источником выбросов в атмосферу города является автотранспорт. Основной вклад в выбросы стационарных источников Москвы вносят предприятия по производству и распределению электроэнергии, газа и воды (65 %) и обрабатывающие производства (29 %) [7]. В свою очередь, Восточный округ Москвы занимает второе место по количеству стационарных источников загрязнения после Юго-Восточного – около 3700 и 4700, соответственно [7]. Также Восточный округ является источником загрязняющих воздушный бассейн мегаполиса промышленных выбросов, так как на его территории расположены десятки крупных предприятий различного профиля. Таким образом, Восточный округ Москвы представляет интерес для сравнения с Челябинском, как крупный промышленный район, а ЦАО, как район, подвергающийся сильному влиянию автотранспорта, что характерно и для Челябинска.

Исследованы данные элементного анализа аэрозольных проб и проб снеготалой воды, отобранных в Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН зимой 2021 г. По результатам анализа данных с помощью теста Колмогорова-Смирнова установлено, что снеготалая вода отличается достоверно значимо высоким уровнем накопления всех рассматриваемых элементов. Выявленные различия в уровнях накопления элементов в снеготалой воде и аэрозоля свидетельствуют о разных факторах и механизмах накопления изучаемого спектра элементов.

В таблице представлены коэффициенты концентрации химических элементов в снеговом покрове двух интересующих нас районов Москвы. Как видно из таблицы, в Восточном округе наибольший К<sub>c</sub> имеет молибден, источником которого может служить теплоэнергетика, согласно [3], что подтверждается и данными по г. Челябинск, где пробы, отобранные в районе ТЭЦ, также имеют повышенный К<sub>c</sub> по молибдену. В свою очередь, в ЦАО Москвы наблюдается значительное превышение над фоном концентраций свинца, молибдена, кадмия, ниобия, как и в данных по г. Челябинск, в районе металлургического комбината. При этом по другим элементам совпадений с данными по г. Москва не наблюдается, что может указывать на специфику материалов исследуемых объектов промышленности г. Челябинска.

Таблица

Коэффициенты концентрации элементов в снеговом покрове в различных районах г. Москва

К <sub>c</sub> для ВАО Москвы [6] (твердый осадок снега), 2010 г.				
меньше 1,5	от 1,5 до 3	от 3 до 6	от 6 до 18	больше 18
Ti Be Pb Mn Cu Zn	Bi Co Cd Ni Sr Cr Fe V	Sn W As Sb	Ag	Mo
К <sub>c</sub> для ЦАО (снеготалая вода), 2021 г.				
меньше 1,5	от 1,5 до 6	от 6 до 18	-	-
Se Br Ag Ta	B P Cr Ga Ge Pb Be Nb Mo Te Cs Hf K	Co As Rb Cd Tm Lu Re Tl Bi S Ni Cu Y Th Pr	-	-

Исследование состава аэрозолей и снеготалой воды в ЦАО г. Москвы выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-27-00063).

#### Литература

- Gubanova D.P., Vinogradova A.A., Iordanskii M.A., Skorokhod A.I. // Atmosphere. – 2022. – V. 13, No 4. P. 574–599. Gubanova D. P. et al. Variability of near-surface aerosol composition in Moscow in 2020–2021: Episodes of extreme air pollution of different genesis // Atmosphere. – 2022. – Т. 13. – №. 4. – С. 574.
- Li Y. et al. Evaluating urban sustainability potential based on material flow analysis of inputs and outputs: A case study in Jinchang City, China // Resources, Conservation and Recycling. – 2016. – Т. 110. – С. 87-98.
- Vasilevich M. I., Beznosikod V. A., Kondratenok B. M. Chemical composition of snow cover in the taiga zone of the Komi Republic // Water resources. – 2011. – Т. 38. – С. 530-542.
- Бондаренко К. А. и др. Изучение частиц рм, собранных на территории Челябинска, 10методом сканирующей электронной микроскопии //Металлогения древних и современных океанов Учредители: Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН. – 2022. – Т. 28. – С. 219-222.
- Касимов Н. С. и др. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. – 2016.
- Касимов Н. С. и др. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2012. – №. 4. – С. 14-24.
- Кульбачевский А. О. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2014 году» // М.: ДПиООС. – 2012. – С. 37.
- Сает Ю. Е. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – С. 335.