

**ПРИРОДА ПРОИСХОЖДЕНИЯ
ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА В
АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦАХ В
СЕВЕРНОМ ТАДЖИКИСТАНЕ
(ДЕВАШТИЧ, СПИТАМЕН, ИСТИКЛОЛ И
АШТ)**

**ТАБИАТИ ПАЙДОШАВИИ МЕТАЛЛҲОИ
ВАЗНИН ВА АРСЕН ДАР ЗАРРАҲОИ
АЭРОЗОЛ ДАР ТОҶИКИСТОНИ
ШИМОЛӢ (ДЕВАШТИЧ, СПИТАМЕН,
ИСТИҚЛОЛ ВА АШТ)**

**THE NATURE OF ORIGIN OF HEAVY
METALS AND ARSENIC IN AEROSOL
PARTICLES IN NORTHERN TAJIKISTAN
(DEVASHTICH, SPITAMEN, ISTIKLOL AND
ASHT)**

Абдуллозода Сабур Фузайл, д.физ.-мат.наук, профессор, заведующий лабораторией физики атмосферы ФТИ им. С. У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана (Таджикистан, Душанбе); **Рахматзода Мухаммади Нуридин (Рахматов Мухаммади Нуридинович)**, к.физ.-мат.наук, доцент кафедры профильных предметов НОУ «Институт промышленности и сервиса» (по совместительству) **Нурматзода Давлат Хамрали (Нурматов Давлатдҷон Хамралиевич)**, PhD, докторант 3-ого курса физико-технического факультета ГОУ «ХГУ имени акад.Б.Гафурова», (Таджикистан, Худжанд)

Абдуллозода Сабур Фузайл, д.и.физ.-мат., профессор, мудир лаборатория физикаи атмосфераи Институти физикаю техникаи ба номи С. У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон (Тоҷикистон, Душанбе), **Раҳматзода Муҳаммади Нуридин (Раҳматов Муҳаммадӣ Нуридинович)**, н.и.физ.-мат., дотсенти кафедраи фанҳои таҳассусӣ МҲД «Донишқадаи саноат ва хизматрасонӣ» (муштарак), **Нурматзода Давлат Хамрали (Нурматов Давлатҷон Хамралиевич)**, докторант курси 3-юми факултети физикаю техника МДТ «ДДХ ба номи акад.Б. Гафуров» (Чумхурии Тоҷикистон, Хучанд)

Abdullozoga Sabur Fuzail, Dr. Sc.(Phys.Math), Laboratory of Atmospheric Physics, S. U. Umarov Physical-Technical Institute National academy of Sciences of Tajikistan (Tajikistan, Dushanbe), **E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com**; **Rakhmatzoda Muhammadi Nuridin (Rahmatov Muhammadi Nuridinovich)**, Cand. Of Physical and Mathem. Sciences, Senior Lecturer of the of the Department of Core Subjects at NSEI «Institute of Industry and Services» (part-time), **E-mail: muhamadi.rahmatov@yandex.ru** **Nurmatzoda Davlat Khamrali (Nurmatov Davlatjon Khamralievich)**, doctoral student (PhD) of the 3rd year of the Faculty of Physics and Techniques, SEI “KhSU by named aftor acad. B.Gafurov” (Tajikistan, Khujand), **E-mail: dima_nurmatov98@mail.ru**

Ключевые слова: элементный состав, тяжёлые металлы, мышьяк, аэрозольные частицы, коэффициент обогащения, Северный Таджикистан, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, Деваштич, Спитамен, Истиклол и Ашт.

Первые результаты исследований элементного состава атмосферного аэрозоля Северного Таджикистана по данным метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) позволили выявить высокие значения веществ в некоторых исследуемых пробах. Нами были рассчитаны коэффициенты обогащения для тяжёлых металлов и мышьяка в исследуемых пробах. Анализ расчёта коэффициентов обогащения в исследованных образцах показывает, что в состав аэрозольных частиц на исследуемых территориях к элементам техногенного происхождения относятся следующие элементы: Pb, As, Zn, Cd, Bi и Sb. Средние значения EF для Be, Tl, Co, Ni, Cr, Rb, Mo, Li и Ba во всех пробах аэрозольных частиц находятся на уровне единицы, т.е., этим элементам аэрозольных проб не обогащены; это говорит о том, что источники упомянутых

элементов локализованы. Основным источником аэрозольного загрязнения территории Северного Таджикистана являются выбросы стройиндустрии, автотранспорта и хозяйственная деятельность человека, содержащиеся в техногенных частицах тяжёлые металлы и мышьяк, транспортируемые воздушными потоками на более дальние расстояния.

Калидвожаҳо: таркиби унсурӣ, металлҳои вазнин, арсен, зарраҳои аэрозол, омили ганигардонӣ, Тоҷикистони Шимолӣ, масс-спектрометрияи индуктивӣ бо плазма робитадошта, Деваштӣч, Спитамен, Истиқлол ва Ашт.

Дар натиҷаҳои аввалини таҳқиқоти таркиби унсурҳои аэрозоли атмосфераи Тоҷикистони Шимолӣ бо истифода аз усули масс-спектрометрияи индуктивии бо плазма робитадошта дар баъзе намунаҳои таҳқиқшуда қиматҳои баланди унсурҳо ошкор карда шуд. Мо дар намунаҳои омӯхташуда омилҳои ганигардонии металлҳои вазнин ва арсенро ҳисоб намудем. Таҳлили ҳисоби коэффисиенти ганигардонӣ дар намунаҳои таҳқиқшуда нишон медиҳад, ки дар таркиби зарраҳои аэрозол дар минтақаҳои таҳқиқшуда унсурҳои зерини манбаи пайдоиши техногениро доранд: Pb, As, Zn, Cd, Bi ва Sb. Қиматҳои миёнаи EF барои Be, Tl, Co, Ni, Cr, Rb, Mo, Li ва Ba дар ҳама намунаҳои зарраҳои аэрозол дар ҳудуди як мебошанд, яъне намунаҳои аэрозол бо ин унсурҳо гани нестанд; ин аз он шаҳодат медиҳад, ки манбаҳои унсурҳои зикршуда маҳаллӣ мебошанд. Манбаи асосии ифлосшавии аэрозолҳо дар қаламрави Тоҷикистони Шимолӣ партовҳои саноати сохтмон, воситаҳои нақлиёт ва фаъолияти хоҷагии халқ, металлҳои вазнин ва арсен дар таркиби зарраҳои техногенӣ мавҷудбуда, ки тавассути сели ҳаракати массаи ҳаво ба масофаи дур интиқол дода мешаванд, мебошанд.

Key words: elemental composition, heavy metals, arsenic, aerosol particles, enrichment factor, Northern Tajikistan, inductively coupled plasma mass spectrometry, Devashtich, Spitamen, Istiklol and Asht.

The first results of studies of the elemental composition of atmospheric aerosol in Northern Tajikistan using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) methods revealed high values of substances in some of the studied samples. We calculated enrichment factors for heavy metals and arsenic in the studied samples. Analysis of the calculation of enrichment coefficients in the studied samples shows that the composition of aerosol particles in the study areas includes the following elements of technogenic origin: Pb, As, Zn, Cd, Bi and Sb. The average EF values for Be, Tl, Co, Ni, Cr, Rb, Mo, Li and Ba in all samples of aerosol particles are at the level of unity, i.e., aerosol samples are not enriched in these elements; this suggests that the sources of the mentioned elements are localized. The main source of aerosol pollution in the territory of Northern Tajikistan is emissions from the construction industry, vehicles and human economic activities, heavy metals and arsenic contained in man-made particles, transported by air flows over longer distances.

Введение. Загрязнение атмосферы тяжёлыми металлами (ТМ) наземных экосистем стало серьёзной причиной беспокойства из-за его высокой токсичности, стойкости и способности к биоаккумуляции. Хотя большинство ТМ являются естественными компонентами окружающей среды, их биохимическое равновесие и геохимические процессы были изменены в результате антропогенной деятельности, включая следовые загрязнения, превышающие фоновое значение, и чрезмерное загрязнение, вызванное длительным накоплением и миграцией. Таким образом, загрязнение тяжёлыми металлами стало важным фактором, угрожающим здоровью человека и экосистеме. Поэтому решение этой проблемы является актуальным [1, с. 65; 2, с. 80-83].

До настоящего времени сведения об элементном составе атмосферного аэрозоля в различных районах Северного Таджикистана подробно не приводились из-за отсутствия технической возможности, дороговизны аналитических исследований проб почвы и аэрозольных частиц, нехватки опыта и специалистов.

В связи с этим возникла необходимость проведения мониторинга содержания металлов в пробах атмосферного аэрозоля в пределах Северного Таджикистана, работы проводились в Худжандском государственном университете и лаборатории физики атмосферы ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ; здесь мы изучаем один из важных аспектов окружающей среды – содержание тяжёлых металлов в аэрозольных частицах исследуемых территорий.

Для выяснения степени опасности загрязнения ТМ и мышьяка необходимо знать концентрацию металлов в почве и в атмосферном аэрозоле. В последние годы резко возросло количество публикаций, посвящённых описанию тяжёлых металлов в пробах атмосферного аэрозоля различных стран мира, в том числе в Таджикистане, в целом явление хорошо изучено [1, с. 63-69; 2, с. 78-93].

В последние годы проведены многочисленные экспериментальные работы, характеризующие особенности металлов в различных биосферных системах. Ранее сводки по поведению металлов в атмосфере и почве Таджикистана были приведены в работах [1, с. 63-69; 2, с. 78–93].

Поэтому на сегодняшний день исследование загрязнения атмосферы в различных районах Северного Таджикистана тяжёлыми металлами актуально и необходимо для понимания и решения проблем регионального и глобального трансграничного переноса аэрозольных частиц и оценки уровня загрязнения окружающей среды [2, с. 78–93].

Цель данной работы, в первую очередь, заключалась в том, чтобы проанализировать состояние атмосферного воздуха по содержанию ТМ и As, а также провести оценку содержания тяжёлых металлов, относящихся к I (Pb, Zn, Cd, Be и Tl) и II (Co, Ni, Cr, Rb, Mo, Li, Bi, Sb и Ba) классам опасности и мышьяка в аэрозольных пробах Северного Таджикистана методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС).

Объекты, методы исследования. В работе рассмотрены данные об элементном составе атмосферного аэрозоля Северного Таджикистана. В качестве экспериментальных пунктов для изучения элементного состава аэрозоля были выбраны приграничные районы с различной антропогенной нагрузкой.

Отбор и подготовку проб проводили в соответствии с методическими подходами из опубликованных работ [6, с.20]. В ходе комплексного эксперимента производили отбор аэрозольных проб для элементного анализа, естественного осаждения его на полиэтиленовую плёнку размером (10 x 10) м².

Далее пробы с фракцией менее 1 мм были измельчены на виброистирателе для выполнения химико-аналитического анализа – масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе Agilent 7500 [7, с.93–101]. Всего проанализировано 26 аэрозольных проб. Были определены концентрации следующих металлов, относящихся к I (Pb, As, Zn, Cd, Se, Be, Tl), II (Co, Ni, Cr, Rb, Mo, Li, Bi, Sb и Ba) классам опасности.

Для дифференциации поступления металлов между антропогенными и природными источниками широко используется коэффициент обогащения (EF) [3, с. 418-427; 4, с.40], который показывает обогащение в исследуемых пробах конкретными металлами по отношению к природному фону:

$$EF = \frac{C_i(\text{проба})/C_{\text{норм}}(\text{проба})}{C_i(\text{кларк})/C_{\text{норм}}(\text{кларк})},$$

где $C_i/C_{\text{норм}}(\text{проба})$ – это отношение концентрации измеряемого металла к концентрации нормирующего элемента в данной пробе и в земной коре (Кларк) соответственно.

EF – это коэффициент обогащения, который позволяет выявлять дополнительный вклад тяжёлых металлов от разных источников загрязнения в формирование элементного состава аэрозольных частиц и почв. Скандий в данном случае был использован как индикатор литогенного источника [7, с.93-101]. Если значения EF более 1 указывают на антропогенные источники поступления тяжёлых металлов, а если EF менее 1 – на литогенные происхождения металлов, т.е., характерные для земной коры. Также EF может дать понимание отделения антропогенного источника от природного. Кроме того, EF также помогает определить степень загрязнения почвы элементом [4, с.40].

Для анализа происхождения тяжёлых металлов в составе аэрозолей, т.е., степени естественного по интенсивности антропогенного влияния на элементный состав атмосферного аэрозоля относительно среднего состава земной коры использован метод коэффициента обогащения (EF). Интерпретация значений EF выполнена в соответствии с [8, с.1232; 9, с.14; 10, с. 52–59]. Если $EF \leq 10$, то элемент не обогащён и происхождение элементов можно считать преимущественно за счёт земной коры и других природных источников. В случае если $EF > 10$, то элемент обогащён и преимущественно за счет антропогенного происхождения.

На рис. 1 приведены коэффициенты обогащения металлов в составе атмосферного аэрозоля Северного Таджикистана (Деваштич, Спитамен, Истиклол и Ашт). Рассматриваются средние за каждый район значения коэффициентов обогащения. В зависимости от порядка величины EF все исследуемые металлы разделены на две группы ($EF \leq 10$ и $EF > 10$), что позволяет отличить их антропогенное происхождение от природного.

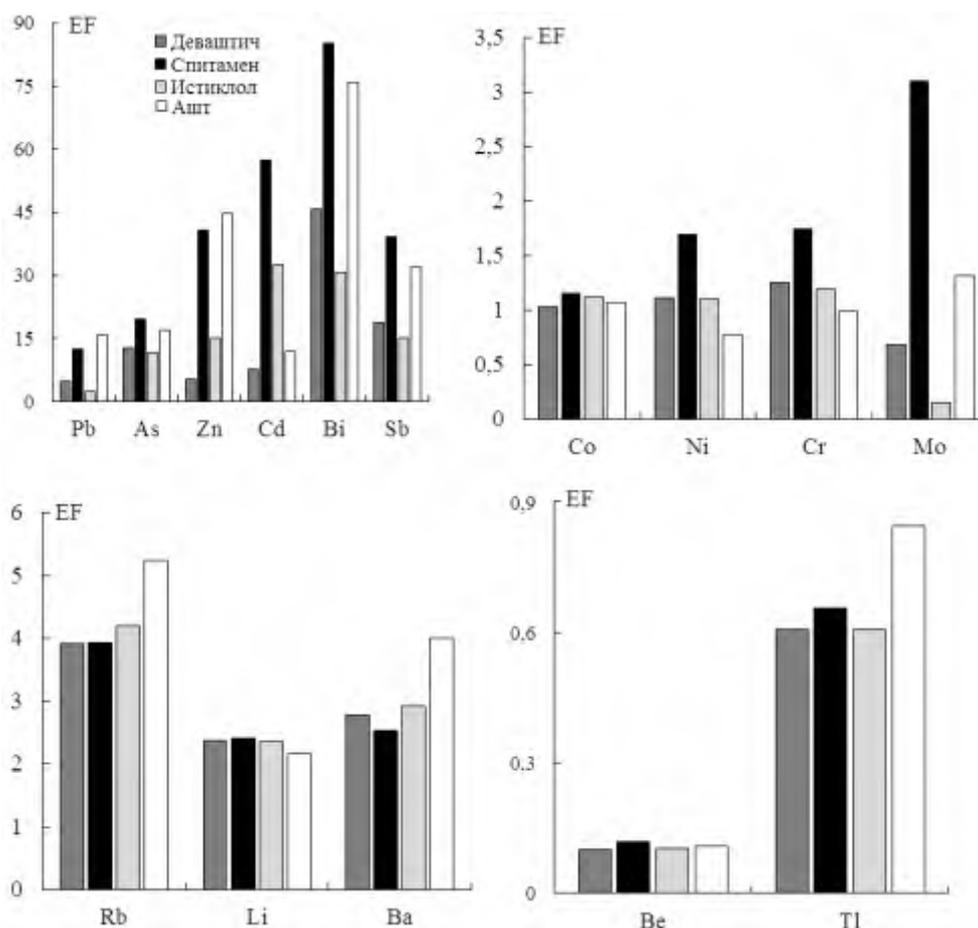


Рис. 1. Рассчитанные величины коэффициента обогащения (EF) для элементов в аэрозольных частицах, взятых в Северном Таджикистане (Деваштич, Спитамен, Истиклол и Ашт)

Анализ расчёта коэффициентов обогащения в исследованных образцах показывает, что в состав аэрозольных частиц на исследуемых территориях к элементам техногенного происхождения относятся следующие элементы: Pb, As, Zn, Cd, Bi и Sb (рис. 2-6).

Средние значение EF для Be, Tl, Co, Ni, Cr, Rb, Mo, Li и Ba во всех пробах аэрозольных частиц находятся на уровне единицы, т.е., этим элементам АА не обогащены; это говорит о том, что источники упомянутых элементов локализованы.



Рис. 2. Географическое распространение EF для Pb в пробах аэрозольных частиц. Цвет кружков представляет степень обогащения

Уровень коэффициента обогащения тяжелых металлов и мышьяка в аэрозольных частицах, взятых в Деваштиче, отражает следующие элементные ряды, построенные по убыванию средних значений EF элементов: $Bi_{45,82} > Sb_{18,89} > As_{12,78} > Cd_{7,85} > Zn_{5,36} > Pb_{4,90} > Rb_{3,92} > Ba_{2,78} > Li_{2,37} > Cr_{1,26} > Ni_{1,12} > Co_{1,03} > Mo_{0,69} > Tl_{0,61} > Be_{0,61}$. Высокие средние значения коэффициентов обогащения Bi, Sb и As на территориях Деваштич а имеют техногенный характер.

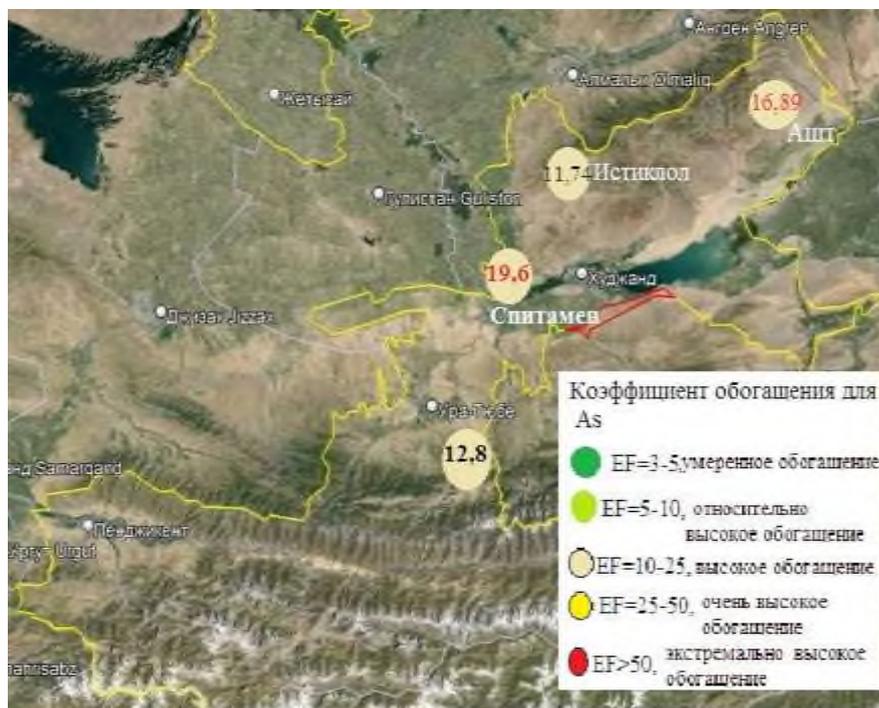


Рис. 3. Географическое распространение EF для As в пробах аэрозольных частиц. Цвет кружков представляет степен обогащения

Анализ значений коэффициента обогащения в Спитамене показывает, что аэрозольные частицы оказались сильно обогащены этими элементами: Bi, Cd, Zn и Sb. Тем не менее, убывающий ряд средних значений коэффициента обогащения выбранных тяжелых металлов имеет следующий вид: $Bi_{85,25} > Cd_{57,54} > Zn_{40,68} > Sb_{39,17} > As_{19,6} > Pb_{12,54} > Rb_{3,93} > Mo_{3,11} > Ba_{2,53} > Li_{2,41} > Cr_{1,75} > Ni_{1,7} > Co_{1,16} > Tl_{0,65} > Be_{0,12}$.

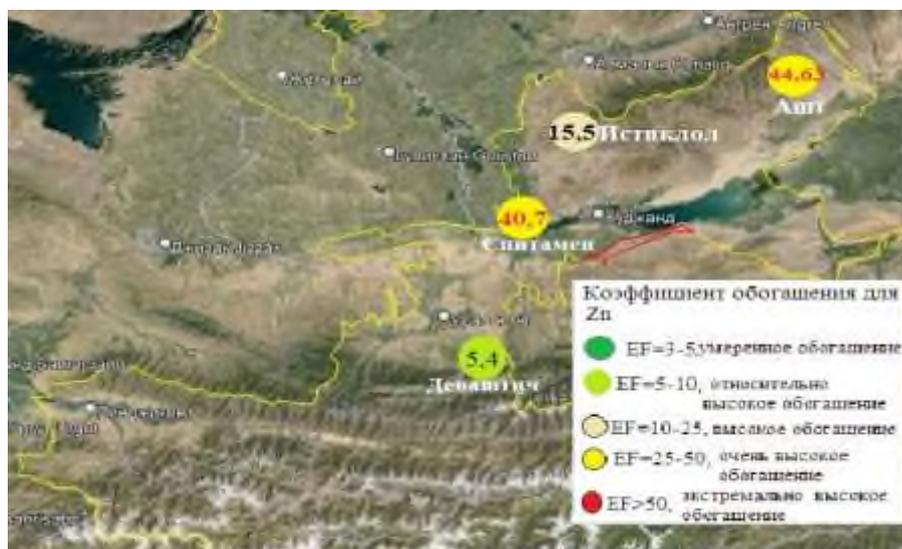


Рис. 4. Географическое распространение EF для Zn в пробах аэрозольных частиц. Цвет кружков представляет степен обогащения

Значения коэффициента обогащения для проб аэрозольных частиц, взятых в Истиклоле, имеет следующую последовательность: $Cd_{32,54} > Bi_{30,84} > Sb_{15,24} > Zn_{15,02} > As_{11,74} > Rb_{4,21} > Ba_{2,92} > Pb_{2,45} > Li_{2,36} > Cr_{1,20} > Co_{1,13} > Ni_{1,10} > Tl_{0,61} > Mo_{0,16} > Be_{0,10}$.

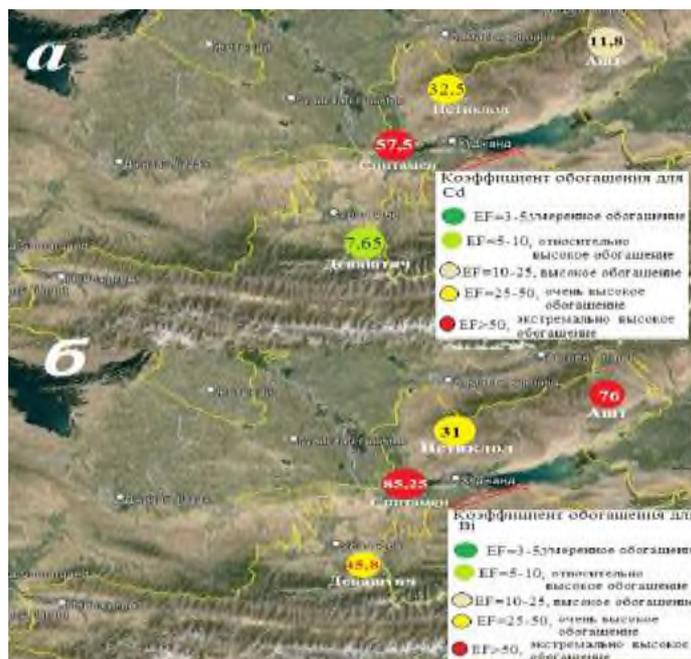


Рис. 5. Географическое распространение EF для Cd (а) и Bi (б) в пробах аэрозольных частиц.

Цвет кружков представляет степень обогащения

Ряд с наиболее высокими коэффициентами обогащения в аэрозольных частиц, взятых в Ашгском районе, имеют $Bi_{75,99} > Zn_{44,63} > Sb_{32,01} > As_{16,89} > Pb_{15,84} > Cd_{11,86} > Rb_{5,25} > Ba_{4,01} > Li_{2,17} > Mo_{1,32} > Co_{1,07} > Cr_{0,99} > Tl_{0,84} > Ni_{0,77} > Be_{0,11}$.

Основным доминирующим источником загрязнения атмосферы Северного Таджикистана свинцом являются выхлопные газы автомашин, в связи стремительного роста количества автотранспорта за последние 10 лет, в районах области постоянно выбрасываются в атмосферу региона соединения Pb. Основная масса Pb оседает на поверхности почв, но и в атмосфере остаётся заметная её часть. Северный Таджикистан по характеру антропогенного загрязнения в настоящее время относится к числу регионов, для которых уровень техногенной нагрузки определяется, в основном, как местными геологическими особенностями, так и дальним трансграничным переносом, а также осадками коммунальных и промышленных сточных вод, в состав которых входит свинец.

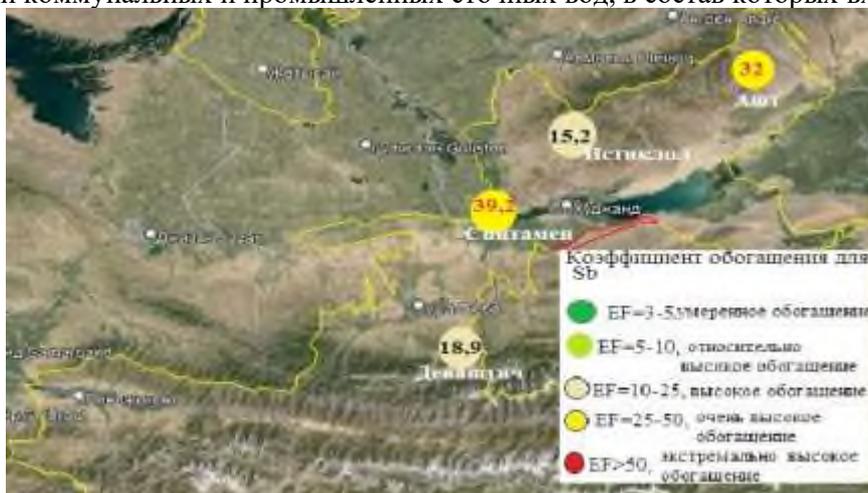


Рис. 6. Географическое распространение EF для Sb в пробах аэрозольных частиц. Цвет кружков представляет степень обогащения

В атмосфере Северного Таджикистана повышенное содержание As связано, в основном, с такими источниками, как различные промышленные процессы, включая добычу и обработку руд, цементные заводы и сжигание природных отходов.

Антропогенное происхождение Zn, Cd, Bi и Sb в атмосферном аэрозоле исследуемых районов в большинстве своём связано с транспортом, металлургической промышленностью, производством строительных материалов (предприятия по переработке мрамора, бетонных плит, кирпича и шлакоблока). Истирание деталей автотранспорта и износ шин могут быть источником загрязнения Zn и Sb в атмосфере районов. Имеются и другие предприятия с газовыми и аэрозольными выбросами в атмосферу, содержащие тяжёлые металлы.

Следует отметить, что Северный Таджикистан находится на краю Ферганской долины, с двух сторон он окружён горами средней высоты и образует своеобразную аэродинамическую трубу, что периодически создаёт сильные ветры, способствующие распространению аэрозольных частиц антропогенного происхождения, в том числе и тяжёлых металлов, по всей долине. На протяжении многих лет тяжёлые металлы в составе аэрозольных частиц распространяются по всем исследуемым районам от стационарных источников загрязнения, которые функционируют в Ферганской долине.

При этом в обогащение атмосферного аэрозоля Северного Таджикистана некоторыми элементами (Pb, As, Zn, Cd, Bi и Sb) основной вклад также вносит трансграничный перенос загрязнения от техногенного источника.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Халифаева, Ш.Х. Тяжелые металлы в составе атмосферного аэрозоля юго-центральной части Таджикистана / Ш.Х. Халифаева, В.А. Маслов, Б.И. Назаров, Ф. Рахими, С.Ф. Абдуллаев // Известия НАНТ. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2019. Т.177, №4. С. 63-69.
2. Рахматов, М.Н. Динамика распределения тяжелых металлов и мышьяка в пылевом аэрозоле и почвах Северного Таджикистана / М.Н. Рахматов, В.А. Маслов, С.Ф. Абдуллаев // Химическая безопасность. 2019. Т.3, № 2. С. 78–93.
3. Perrino, C., Chemical characterization of atmospheric PM in Delhi, India, during different periods of the year including Diwali festival / C. Perrino, S.Tiwari, M.Catrambone, S. D.Torre, E.Rantica, S.Canepari // Atmospheric Pollut. Res. V.2. 2011. P.418-427.
4. Губанова, Д.П. Элементный состав аэрозолей в приземном воздухе Москвы: сезонные изменения в 2019 и 2020 гг / Д.П. Губанова, М.А. Иорданский, Т.М. Кудерина, А.И. Скороход, Н.Ф. Еланский, В.М. Минашкин // Оптика атмосф. и океана. 2021. Т. 34, № 6. С. 400-407.
5. Кондратьев, И.И. Межгодовая и сезонная изменчивость трансграничного потока техногенных загрязняющих веществ в дальневосточном регионе / И.И. Кондратьев // Вестник ДВО РАН. 2018. Т.198, №2. С. 110–118.
6. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошкообразных пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа // М 049-П/04. НПО «Спектрон». СПб, 2004. 20 с.
7. Шафигуллина, Г.Т. Геохимические характеристики техногенных почв горнопромышленных ландшафтов южного Урала / Г.Т. Шафигуллина, В.Н. Удачин, К.А. Филиппова, П.Г. Аминов // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. Т.20, №4. С.93–101.
8. Seinfeld, J.H. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change / J.H.Seinfeld, S.N. Pandis // New York: Wiley, 2006. 1232 p.
9. Barbieri, M. The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (I_{geo}) to evaluate the soil contamination / M. Barbieri // Journal of Geology & Geophysics. 2016. V. 5, N.1.P.14.
10. Poh, S-C. The common pitfall of using Enrichment Factor in assessing soil heavy metal pollution / S-C. Poh, N.Tahir // Malaysian Journal of Analytical Sciences. 2017. V. 21, N 1. P. 52–59.

REFERENCES:

1. Khalifaeva, Sh.Kh. Heavy metals in the composition of atmospheric aerosol in the south-central part of Tajikistan / Sh.Kh. Khalifaeva, V.A. Maslov, B.I. Nazarov, F. Rahimi, S.F. Abdullaev // News of NANT. Department of physical, mathematical, chemical, geological and technical sciences. 2019. T.177, No. 4. P. 63-69.

2. Rakhmatov, M.N. Dynamics of distribution of heavy metals and arsenic in dust aerosol and soils of Northern Tajikistan / M.N. Rakhmatov, V.A. Maslov, S.F. Abdullaev // *Chemical safety*. 2019. T.3, No. 2. P.78–93.
3. Perrino C. Chemical characterization of atmospheric PM in Delhi, India, during different periods of the year including Diwali festival / C. Perrino, S.Tiwari, M.Catrambone, S. D.Torre, E.Rantica, S.Canepari // *Atmospheric Pollut. Res.* V.2. 2011. P.418-427.
5. Gubanova D.P. Elemental composition of aerosols in the surface air of Moscow: seasonal changes in 2019 and 2020 / D.P. Gubanova, M.A. Iordansky, T.M. Kuderina, A.I. Skorokhod, N.F. Elansky, V.M. Minashkin // *Atmospheric optics. and the ocean*. 2021. T. 34, No. 6. P. 400-407.
6. Kondratyev I.I. Interannual and seasonal variability of the transboundary flow of technogenic pollutants in the Far Eastern region / I.I. Kondratiev // *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2018. T.198, No. 2. P.110–118.
7. Methodology for measuring the mass fraction of metals and metal oxides in powdered soil samples using X-ray fluorescence analysis // M 049-P/04. NPO "Spectron". St. Petersburg, 2004. 20 p.
8. Shafigullina, G.T. Geochemical characteristics of technogenic soils in mining landscapes of the southern Urals / G.T. Shafigullina, V.N. Udachin, K.A. Filippova, P.G. Aminov // *Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*. 2015. T.20, No. 4. P.93–101.
9. Seinfeld J.H. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change / J.H.Seinfeld, S.N. Pandis // New York: Wiley, 2006. 1232 p.
9. Barbieri, M. The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (I_{geo}) to evaluate the soil contamination / M. Barbieri // *Journal of Geology & Geophysics*. 2016. V. 5, N.1.P.14.
1. Poh, S-C. The common pitfall of using Enrichment Factor in assessing soil heavy metal pollution / S-C. Poh, N.Tahir // *Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 2017. V. 21, N 1. P. 52–59.