УДК 621.039.573

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙТРОННОГО АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА НА РЕАКТОРЕ ИБР-2 ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АТМОСФЕРНОГО МОНИТОРИНГА

В.Ф.Переседов, Т.М.Островная, Л.П.Стрелкова, В.П.Чинаева, С.Ф.Гундорина

Целью работы являлось выяснение возможностей нейтронного активационного анализа (НАА) на ИБР-2 для изучения элементного состава атмосферного аэрозоля. На примере трех сибирских регионов показано, что методики анализа позволяют оценить средний уровень пригородного фона, масштаб его региональных, сезонных и годичных изменений. Анализ факторов обогащения позволил убедиться в наличии повышенного содержания ряда тяжелых металлов в атмосферном воздухе фоновых районов, что является следствием роста глобальной техногенной нагрузки.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка ОИЯИ.

Use of Neutron Activation Analysis at the IBR-2 Reactor for Atmospheric Monitoring

V.F.Peresedov et al.

The object of this work was the study of the possibilities of neutron activation analysis (NAA) for determination of elemental content of atmospheric aerosol. On examples of three Siberian regions it was shown that methodics of analysis allow to estimate the average level of suburban background (ALSB), scale of its regional, season and annual changes. Analysis of enrichment factors allows one to convince in presence of increased content of a row of heavy metals in atmospheric air of background regions what is the consequence of global growing of technogenic impact.

The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Как известно, техногенная миграция элементов в последние десятилетия становится все более значимым негативным фактором биосферы Земли, что связано в значительной мере с ростом ежегодной эмиссии в атмосферу индустриального аэрозоля. По оценкам [1], в настоящее время эмиссия аэрозоля составляет $(1\text{–}3)E+8$ тонн в год, т.е. несколько процентов от природной. Рост эмиссии аэрозоля происходит на фоне увеличивающейся ежегодной мировой добычи минерального сырья, составляющей около $100E+9$ тонн. Накопление в таких масштабах, как в настоящее время, наиболее технофильных элементов и их соединений, являющихся нередко токсичными и канцерогенными, не наблюдалось

в природе ранее. При удвоении промышленного поизводства за каждые 10–15 лет роль указанных негативных факторов может существенно возрасти уже в недалеком будущем.

В связи с этим атмосферный мониторинг становится все более актуальной задачей, поскольку влияние техногенного атмосферного аэрозоля на качество окружающей среды и здоровье населения нередко оказывается определяющим. Например, в результате ряда исследований в настоящее время надежно установлено, что заболеваемость населения в экологически неблагоприятных районах зависит от токсичности вещества и его экспозиционной дозы. Однако, ввиду сложности этих проблем, требующих комплексного подхода, знания о потенциально опасных эффектах воздействия атмосферных загрязнений на человеческий организм и все живое пока еще остаются далеко не полными.

В развитых странах этим проблемам уделяется серьезное внимание, финансируются национальные и международные программы развития мониторинговых сетей и их информационная структура. Совершенствуются эмиссионные стандарты для главных источников атмосферных поллютантов с учетом их токсичности и потенциального риска, а также индикаторы и критерии качества мониторинговых данных.

Формирование банка данных по глобальным, региональным и локальным источникам поступления потенциально опасных загрязнителей в окружающую среду, о путях их миграции, а также о масштабах их накопления в различных объектах окружающей среды (ОС) необходимо для решения многих экологических проблем. Наряду с этим изучение глобального фона аэрозоля, его естественной и техногенной компонент, их региональных и локальных отличий является также актуальной задачей, поскольку эти параметры важны для оценки настоящего и будущего состояния окружающей среды.

Работы по экологической тематике, в частности, аналитическое обеспечение для атмосферного мониторинга различных регионов Сибири, проводились в секторе нейтронного активационного анализа ЛНФ ОИЯИ в течение нескольких лет. Данная работа была выполнена в рамках этой тематики и связана с определением элементного состава атмосферного аэрозоля (АА) в фоновых районах нескольких регионов Сибири.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Образцы атмосферных аэрозолей были собраны в Тюменской, Новосибирской областях и Красноярском крае с использованием аспирации приземного атмосферного воздуха на мелкопористые фильтры, позволяющие с практически 100% эффективностью адсорбировать АА в широком интервале их размеров — от $1,0E-4$ до сотен микрон. Несколько сотен образцов аэрозоля были проанализированы на реакторе ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ.

Анализ элементного состава атмосферных аэрозолей для небольших объемов аспирации является не рядовой задачей для любого из аналитических методов, поскольку количество осажденного на фильтре аэрозоля, как правило, очень мало, и аналитику часто приходится работать на пределе возможностей метода. В практике подобных исследований обычно используют ICP, NAA, AAS, AES, RFA-SI и другие методы, обеспечивающие приемлемые чувствительность, репрезентативность и производительность анализа.

Использовавшийся в этой работе НАА является вполне адекватным поставленной задаче методом с характерной для него чистой и надежной технологией анализа, благодаря чему на требуемом уровне исключалось загрязнение образцов посторонними веществами,

что зачастую сложнее обеспечить при анализе с помощью других методов. По репрезентативности НАА ненамного уступает только нескольким самым совершенным современным методам (некоторым разновидностям ICP). В основном это относится к ряду легких элементов. Для средних же и тяжелых элементов — Na, Mg, Al, Ti, V, Mn, Sc, Fe, Cr, Co, Zn, Ni, Se, As, Rb, Br, Sr, Zr, Mo, Ag, Sn, In, Cd, Ba, Cs, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Re, W, Au, Ir, Th, U, как правило, наиболее интересных в исследованиях по экологии, — его чувствительность высока, и он успешно конкурирует с любыми методами анализа [2—6].

При наиболее благоприятных условиях (удобной матрице холостого фильтра и оптимальных для анализа количественных соотношениях осажденных на фильтре элементов) с помощью НАА удается анализировать до 55—65 элементов. При малых количествах аналита в пробе их число обычно снижается до 45—30. Но и такая репрезентативность является достаточно высокой и вполне приемлемой для атмосферного мониторинга. Для получения надежных данных по элементному составу атмосферных аэрозолей требуется особая аккуратность выполнения работ по всей технологической цепочке НАА. Использование оптимизированных режимов облучения и низкофоновой гамма-спектрометрии образцов, хорошо выверенного банка ядерных данных, корректных алгоритмов идентификации изотопов и расчета абсолютных концентраций элементов, а также надежной процедуры вычитания фоновых содержаний элементов в холостых (blank) фильтрах позволяет решать задачи атмосферного мониторинга.

Данная работа представлялась нам интересной не только как исследование по экологической тематике, но и с точки зрения интегральной апробации используемых методик и выяснения реальных возможностей НАА на ИБР-2 для анализа такого "деликатного" объекта окружающей среды, как атмосферные аэрозоли. В результате анализа данных были получены: оценки среднего уровня пригородного фона (СУПФ), его региональных, сезонных и годичных изменений, а также рассмотрены факторы обогащения СУПФ.

СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА (СУПФ) В ФОНОВЫХ РЕГИОНАХ

Оценка СУПФ была получена усреднением данных анализа 100 проб АА, отобранных в фоновых районах Тюменской, Новосибирской областей и Красноярского края. В табл. 1, в колонках 1—2 приведены максимально правдоподобные оценки для концентраций 45 элементов в атмосферном воздухе этих регионов и относительные среднеквадратичные отклонения для логнормального распределения. Как оказалось, СУПФ в этих районах характеризуется, в общем-то, типичными для атмосферы фоновых районов содержаниями неосновных элементов и относительной стабильностью несмотря на межрегиональные различия географических, климатических и прочих условий, а также большую — до 1500 км — удаленность регионов друг от друга. Сравнение полученной в этой работе оценки СУПФ с глобальным СУПФ и с СУПФ для Сибири [7] (табл.1, кол.3—4) свидетельствует о приемлемом согласии по большинству элементов. Оценка СУПФ [7] была получена около 20 лет назад в результате обобщения данных по минимальным концентрациям элементов в атмосфере ряда городов Европы, Азии, Америки (Бельгии, Германии, Англии, России, Японии, Соединенных штатов, Боливии, Судана и т.д.). Она базируется на достаточно обширном экспериментальном материале и по-

этому представляется вполне реалистичной. Согласие полученной нами оценки СУПФ с СУПФ [7] не противоречит дискутирующемуся предположению о глобальном характере фонового атмосферного аэрозоля и свидетельствует также о позитивном факте, что для мониторировавшихся районов СУПФ не изменился к худшему за прошедшие 20 лет. Можно также констатировать, что СУПФ пока еще остается значительно меньше содержания элементов в воздухе крупных промышленных центров (табл.1, кол.5—6). В методическом плане согласие между нашей оценкой и СУПФ [7] свидетельствует также о корректности в целом использовавшихся методик анализа аэрозолей.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОТЛИЧИЯ СУПФ

В общем плане изучение региональных особенностей СУПФ актуально для выявления путей миграции техногенных атмосферных загрязнений, а также для оценки качества атмосферы и тенденций изменения ее состава в региональном масштабе. С этой целью оценки СУПФ были получены для фоновых районов каждого из трех регионов и переданы специалистам по атмосферной экологии. Наиболее существенным же для нас с точки зрения аналитического обеспечения данного исследования было выяснение реальных возможностей НАА для изучения региональных отличий СУПФ. Для этого было важно как можно более надежно оценить их масштаб и соотнести его с предельными возможностями НАА для анализа состава атмосферных аэрозолей. Как правило, выявить различия между фоновыми содержаниями сложнее, чем между содержанием элементов в более загрязненном городском воздухе. Для этого требуется больший объем работ: более продолжительные облучения проб, их низкофоновая и длительная гамма-спектрометрия, а также скрупулезный анализ данных.

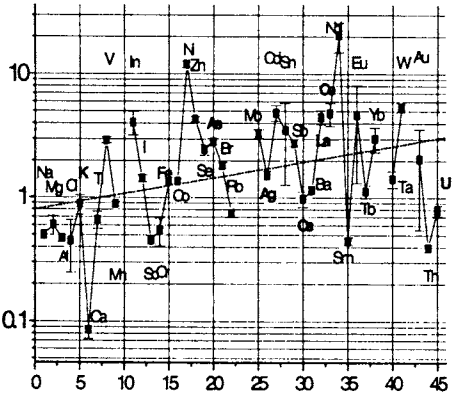

Рис. 1. Отношение $R1$ для Тюменской и Новосибирской областей

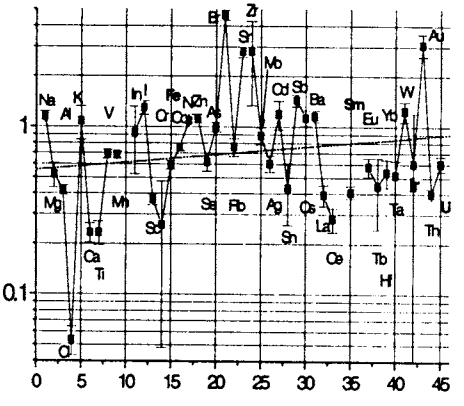

Рис. 2. $R2$ — для Красноярского края и Новосибирской области

Оценки масштаба региональных различий СУПФ были получены путем сравнения, результаты которого представлены на рис.1—2 в виде отношений средних концентраций для 45 элементов. Параметры линейных фитов для них приведены в табл.2. Отношение $R1$ элементных составов атмосферного воздуха для Тюменской (январь-96) и Новосибирской (декабрь-95) областей демонстрирует сложное и нерегулярное поведение. В целом

Таблица 1. Концентрации элементов в атмосферном воздухе фоновых районов Сибири, в Томске, Ташкенте, глобальный и сибирский СУПФ

	Фонов. районы, нг/м^3	Сигма	СУПФ глоб., нг/м^3 [7]	СУПФ, Сибирь, нг/м^3 [7]	Макс., Томск, нг/м^3 [8]	Ташкент, нг/м^3 [9]	ПДК, нг/м^3
	Кол.1	Кол.2	Кол.3	Кол.4	Кол.5	Кол.6	Кол.7
Na	308	2,43	300	100	1200	9900	
Mg	554	1,29	400	400	2600	11000	
Al	701	1,57	600	300		28000	
Cl	467	0,83	700	800		18000	
K	1937	0,34	400	300	3000	40000	
Ca	2692	1,88	600	400	7200	28000	
Ti	542	7,58	80	100	76	140	
V	1,3	2,31	7	2	21	2000	1500
Mn	27,6	1,59	30	30	190	760	10000
Cu	10,4	16,1	30	70	62	1200	2000
In	3,7E-2	1,32	0,06	0,02		20	
I	1,00	1,45	6	1		140	
Sc	0,14	1,14	0,2	0,4	2,9	6,6	
Cr	6,62	7,88	5	5	24	300	500
Fe	341	0,91	500	700	14800	24000	40000
Co	0,61	0,38	0,5	1		38	1000
Ni	3,5	4,83	10		23	320	1000
Zn	24,1	1,41	80	60		2200	80000
Se	0,34	1,38	2	0,8		22	3000
As	1,82	2,17	4	2	4,4	110	3000
Br	2,50	1,52	30	4	4,1	1500	
Rb	1,03	1,20	2	5	14	10	
Sr	11,0	1,05	4	5		50	
Zr	13,7	1,27	2				
Mo	0,37	1,89	1,4	2		10	
Ag	0,17	1,35	0,4	0,8	2,2	53	
Cd	0,29	1,35	2	3	0,44	140	3000
Sn	3,04	1,20				1,1	
Sb	0,58	1,33	2	0,5		400	
Cs	8,3E-2	1,17	0,2	0.3		120	
Ba	11,7	1,18	9	20		100	
La	0,29	5,34	0,6	0,6	12	13	
Ce	0,89	3,56	1,0	1	30	28	
Nd	6,07	5,65			1,5		
Sm	5,8E-2	1,59	0,08	0,1		2,8	
Eu	4,8E-2	2,19	0,03	0,04		19	
Tb	0,012	1,00					
Yb	0,17	0,77	0,03	0,05	0,59	0,1	
Hf	8,2E-2	1,18	0,04	0,1		5,1	
Ta	1,8E-2	0,83	0,04	0,08		0,1	
W	0,38	4,32	0,07	0,7		23	
Ir	5,8E-3	1,12					
Au	2,1E-3	3,24	0,02	0,01	0,034	1,3	
Th	8,2E-2	1,41	0,1	0,2	3,2	4,5	300
U	3,8E-2	1,11	0,1	0,2	2,9	0,12	1500

Таблица 2. Параметры линейных фитов для функции $lgR_i = A + B * X$, где A — интерсепт, B — наклон; X — порядковый номер элемента на графе ($X = 1 - 45$, т.е. Na, Mg, ..., U, Th); R — коэффициенты корреляции; P — вероятность того, что R равно нулю, N — число фитировавшихся точек ($N^{max} = 45$) и SD — стандартное отклонение для фита

	A	B	R	P	N	SD
$R1$	-0,096+-0,138	0,0128+-0,0053	0,364	0,020	40	0,44
$R2$	-0,257+-0,107	0,0046+-0,0041	0,176	0,266	43	0,34
$R3$	-0,493+-0,083	0,0069+-0,0031	0,324	0,032	44	0,27
$R4$	0,134+-0,068	0,0030+-0,0025	0,175	0,251	45	0,23
$R5$	0,064+-0,187	0,0096+-0,0071	0,207	0,184	43	0,60

оно характеризуется сравнительно небольшим для атмосферного воздуха разбросом значений $R1i$, что свидетельствует о близости СУПФ в этих регионах (стандартное отклонение для фита — $SD = 0,44$). Среднее значение линейного фита для $R1$ составляет 1,5–2. Фит демонстрирует не сильно выраженную, но заметную тенденцию роста $R1$ для более тяжелых элементов (рост по фиту составляет 0,8–3 на всем интервале элементов, что связано с повышенными, за пределами $3 * SD$, значениями $R1i$ для V, In, Ni, Zn, As, Mo, Cd, Sb, La, Ce, Nd и W. В их числе — потенциально опасные Ni, As, Cd, Sb, что является в определенной мере негативным симптомом, т.к. их концентрации в воздухе городов могут быть существенно выше. Отметим, что, например, по данным Агентства по защите окружающей среды (США), около 60% потенциально опасных атмосферных поллютантов в настоящее время классифицируются как карциногены. Наблюдаемая тенденция обогащения атмосферных аэрозолей Тюменской области рядом тяжелых элементов может быть обусловлена, как промышленностью самой области, так и близостью Среднего и Южного Урала — регионов сосредоточения черной и цветной металлургии, а также химической промышленности.

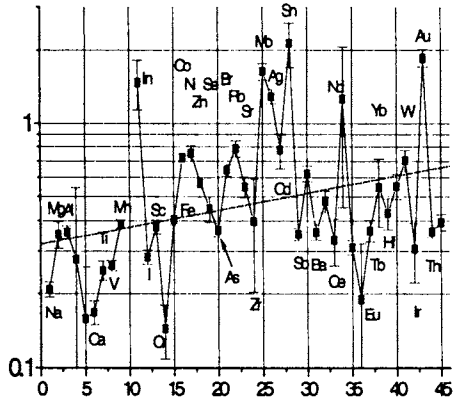

Рис. 3. Отношение $R3$ (лето/зима 1995 г.) для Новосибирской области

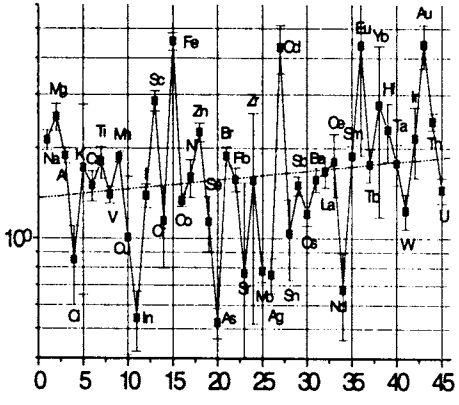

Рис. 4. $R4$ — (июнь 1996 г./июнь 1995 г.) для Новосибирской области

Анализ отношения $R2$ (рис.2) элементных составов атмосферного воздуха для Красноярского края (декабрь-95) и Новосибирской области (декабрь-95) показывает, что в этом случае $R2$ составляет в среднем 0,6-0,8. Фит выявляет более слабую тенденцию роста $R2$ по сравнению с $R1$ (рост по фиту — 0,55–0,90). В этом случае, по-видимому, можно говорить о большей близости СУПФ в этих регионах, расположенных значительно ближе друг к другу.

Таким образом, региональные различия СУПФ выявляются с помощью использовавшихся методик НАА. Их качественные и количественные отличия выглядят, в общем-то, реалистично. Средние различия по всему спектру элементов — невелики и не превышают фактора 2–3. Индивидуальные различия по элементам больше и для большинства из них выявляются надежно, о чем можно судить по показанным на рисунках погрешностям анализа. Для каждого из элементов различие выявляется тем надежнее, чем при меньшей σ фактор Ri больше отличается от 1. Тем не менее, нужно иметь в виду, что региональные отличия для элементов с $Ri < 2 - 3$ и $\sigma > 30\%$ выявлены менее надежно, поскольку их концентрации в воздухе оказались близкими к пределу чувствительности по ним НАА. Для более надежного выявления региональных различий СУПФ по элементам с $R < 3$ можно рекомендовать увеличение объемов аспирации воздуха примерно на порядок.

Сопоставление и анализ полученных данных позволили нам убедиться, что статистической выборки в 20–30 ежесуточно отбираемых проб относительно чистого воздуха фоновых районов (месяц наблюдений) при прокачке 20–25 м^3 через каждый фильтр в принципе достаточно для получения приемлемой по качеству сезонной оценки СУПФ для одной географической точки, а также для сравнения оценок СУПФ по регионам. С другой стороны, подобный анализ лишний раз убеждает в целесообразности постановки продолжительного, систематического и географически более масштабного мониторинга, поскольку только на его основе можно получать по-настоящему значимую информацию об элементном составе атмосферы.

СЕЗОННЫЕ ОТЛИЧИЯ СУПФ В ФОНОВОМ РАЙОНЕ

Информация о сезонной динамике состава приземной атмосферы используется как в атмосферной экологии, так и специалистами, изучающими различные объекты природных ландшафтов. Эти сведения особенно важны для регионов, подверженных повышенным техногенным нагрузкам, поскольку зимой степень экологического риска, как обоснованно считается, может возрастать. Имеющиеся экспериментальные данные по этой тематике фрагментарны и поэтому, к сожалению, нередко трудно сопоставимы. Предсказание деталей сезонной динамики для широкого спектра элементов и масштаба различий их содержания в воздухе по сезонам года на основе только модельных расчетов, как правило, не очень надежно. В связи с этим нам представлялось целесообразным получить оценку масштаба сезонных изменений СУПФ. С этой целью для фонового района — поселка Ключи Новосибирской области — СУПФ сравнивался для лета и зимы 1995 г. Как видно из рис.3 среднее значение отношения $R3$ (лето/зима) составляет 0,4–0,5, т.е. содержание атмосферных аэрозолей в зимней атмосфере этого района в среднем в 2–2,5 раза выше, чем летом. Хотя для данного фонового района эти различия и невелики, тем не менее, они также выявляются с помощью НАА. Увеличение загрязненности

воздуха зимой обычно связывают с зимним уменьшением высоты пограничного слоя атмосферы, вследствие чего концентрация аэрозолей в нем увеличивается. Можно ожидать, что для крупного промышленного центра сезонная динамика выражена сильней и будет выявляться еще надежнее.

ГОДИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СУПФ В ФОНОВОМ РАЙОНЕ

Изучение долговременных тенденций изменения состава атмосферы наиболее полноценно может вестись с использованием дорогостоящего систематического мониторинга, менее полноценно, фрагментарно — на основе более дешевого эпизодического и рекогносцировочного мониторинга. Эта тематика актуальна, поскольку обоснованный прогноз на будущее может строиться только на надежных данных длительных наблюдений.

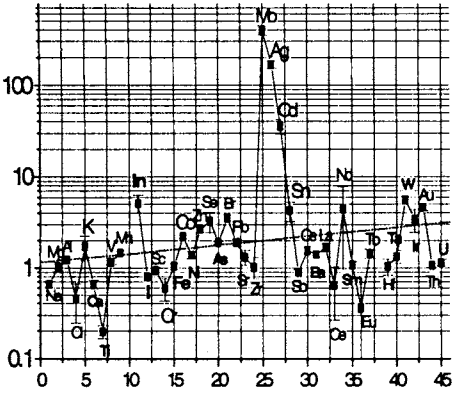

Рис. 5. Отношение $R5$ для урбанизированного и удаленного пригорода Новосибирска

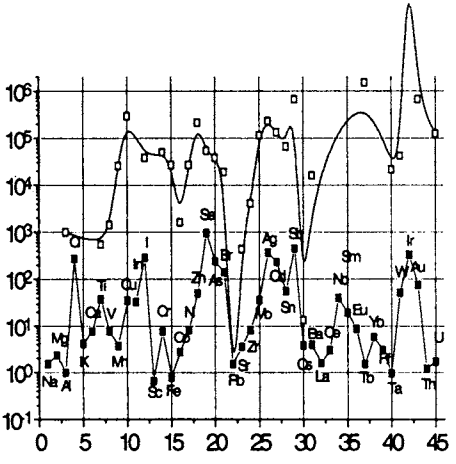

Рис. 6. Факторы обогащения для полученной оценки СУПФ и ежегодной мировой добычи элементов

В нашем случае, на начальной стадии мониторинга этих регионов, для оценки масштаба годичных изменений СУПФ сравнивался для одной и той же фоновой географической точки, поселка Ключи, удаленного пригорода Новосибирска. Отношения элементных составов $R4$ для июня 1996 и 1995 гг. показаны на рис.4. Оказалось, что в среднем содержание элементов в 1996 г. примерно в 1,5 раза выше, чем в 95 г. Таким образом, масштаб изменений в пределах двух лет невелик, что выглядит вполне естественно, поскольку в отсутствие глобальных катаклизмов влияние постепенно нарастающих или флуктуирующих техногенных факторов в фоновых районах проявляется отчетливее лишь за более продолжительные промежутки времени. Кроме того, небольшие наблюдаемые различия состава могут быть связаны с многофакторностью и статистическим характером процессов формирования полей концентрации атмосферных аэрозолей, что может приводить к флуктуациям СУПФ. Таким образом, на основе наблюдений за 2 года, трудно делать однозначный вывод об изменении СУПФ в данном районе.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СУПФ В УРБАНИЗИРОВАННОМ ПРИГОРОДЕ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА

Оценка влияния промышленного центра на СУПФ урбанизированного пригорода представляет интерес по той причине, что немалая часть населения крупных городов проживает примерно в таких же условиях. Сравнение СУПФ в урбанизированном и удаленном пригородах Новосибирска ($R5$-отношения, рис.5, табл.2) показывает, что для большинства элементов наблюдается характерный и сравнительно небольшой разброс $R5i$ относительно 1. Но для In, Cd ($R5 = 5 - 40$) и Ag, Mo ($R5 = 180 - 400$) $R5i$ больше и значительно больше единицы. Это означает, что на расстояниях в несколько км влияние промышленных предприятий города проявляется достаточно сильно и надежно мониторируется. Хотя повышенное содержание этих элементов и не превышает предельно допустимых концентраций в воздухе, тем не менее, в непосредственной близости от промышленных предприятий, где также работает и проживает часть населения, загрязненность воздуха может быть большей.

ФАКТОРЫ ОБОГАЩЕНИЯ ДЛЯ СУПФ В ФОНОВЫХ РАЙОНАХ

Факторы обогащения FE являются важными индикаторами для контроля качественных и количественных отличий элементного состава любого объекта окружающей среды от состава земной коры. С их помощью, в частности, очень удобно выявлять вклад техногенных компонент в СУПФ. Факторы обогащения вводятся как двойные отношения — FE =(Ci/Cn)/(Pi/Pn), где Ci, Pi и Cn, Pn — концентрации i-го и нормализующего — n-го элемента (алюминий) для СУПФ (С) и земной коры (Р). В данном случае факторы обогащения рассчитывались на основе полученной нами оценки СУПФ (рис.6, нижний график).

Как известно, поступление элементов в атмосферу происходит в основном за счет природной и техногенной эмиссий ($(2\text{-}12)E + 9$ и $(1\text{-}3)E + 8$ тонн аэрозоля в год соответственно). Поступление техногенного аэрозоля зависит от масштабов добычи и переработки минерального сырья и связано с промышленной деятельностью всей планеты. Поэтому уместно сопоставить факторы обогащения для оценки СУПФ и для ежегодной мировой добычи элементов [10], что позволит выявить (рис.6, верхний график) возможные корреляции в поведении некоторых элементов. Действительно, для Zn-Se-As-Br, Sr-Zr-Mo-Ag-Cd-Sn-Sb и W-Ir-Au наблюдается определенное сходство в поведении факторов обогащения.

Характерным является также то, что примерно половина из этих элементов — легколетучие и токсичные металлы. Обычно они содержатся в наиболее мелких (субмикронных) фракциях аэрозоля — продуктах высокотемпературного сжигания топлива и в аэрозольных выбросах металлургических производств. Поскольку кларки содержания этих элементов в земной коре, как правило, малы, то их присутствие в атмосфере обусловлено в основном именно техногенной эмиссией. Поэтому корреляции их факторов обогащения оказываются в меньшей степени искаженными вкладом природной эмиссии аэрозолей. И наоборот, для так называемых корных элементов, характеризующихся сравнительно большими кларками содержания, преимущественно локализованных на более

крупных частицах аэрозоля и имеющих значительно меньшее время жизни в атмосфере, явных корреляций, в общем-то, не наблюдается.

Таким образом, на основе данных двухлетнего мониторинга СУПФ в нескольких районах Сибири мы убедились в наличии обогащения атмосферы техногенными элементами — в основном рядом тяжелых технофильных металлов. Это известный, надежно установленный в результате ряда зарубежных и отечественных исследований, но, к сожалению, негативный факт. Бурный рост промышленного производства в XX веке привел к тому, что защитные механизмы природы не справляются в полной мере с возрастающими техногенными нагрузками, и в биосфере происходят негативные процессы, сопровождающиеся нарушением природного равновесия и ухудшением качества окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные оценки СУПФ в разных регионах для зимы и лета позволили оценить масштаб региональных и сезонных различий, что важно для планирования исследований по атмосферному мониторингу в этих и других регионах Сибири. Мы убедились в том, что НАА в сочетании с аспирационной методикой отбора аэрозольных проб позволяет решать задачи атмосферного мониторинга. Однако для систематического мониторинга даже в максимально экономном варианте требуется очень большой объем работ: отбор и анализ, как минимум, нескольких тысяч проб в год, что возможно только в рамках крупных и хорошо финансируемых проектов.

Авторы благодарны С.С.Павлову — сотруднику Лаборатории нейтронной физики за помощь в работе и проф. К.П.Куценогому из Института химической кинетики и горения СО РАН за предоставленные образцы атмосферных аэрозолей и поддержку в работе.

Литература

1. Перельман А.И. — Геохимия. М.: "Высшая школа", 1989.

2. Nazarov V.M., Peresedov V.F. — Journ. Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 1995, v.192, N1, p.17;
Maunthaut W., Zoller W.H. — Ibid., 1979, v.137, No.2, p.637;
Peresedov V.F. — Ibid., 1997, v.224, No.1–2, p.21.

3. Bernick V., Berry P.F. et al. — Advance X-ray Analysis, 1992, v.35, p.1047;
Gilfrich J.V., Burkhalter P.G. — Anal. Chem., 1973, v.45, p.2002.

4. Пушкин С.Г., Король Н.А. — "Методика атомно-абсорбционного и пламенно-фотометрического анализа аэрозольных загрязнений атмосферы". Информационный листок No.387-86, Кемерово: ЦНТИ, 1986.

5. Жигаловская Т.Н., Новиков М.М., Миролюбов В.Е. — Эмиссионный спектральный анализ в применении к охране окружающей среды. Обнинск, "Гидрометеорология", 1982.

6. Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды. Гидрометеоиздат, Л., 1987; U.S.EPA Quality Assurance Technical Information Bulletin, 1991, v.1, No.4.

7. Михайлов В.А., Пушкин С.Г. и др. — Труды научно-исследовательского гидрометеорологического института, Западно-Сибирский регион, Охрана внешней среды, 1979. вып.40, с.55—78.

8. Бояркина А.П., Быковский В.В. и др. — Аэрозоли в природных планшетах Сибири. Томск, Томский ун-т, 1993.

9. Kulmatov R.A., Karimov I.I., Kist A.A. et al. — Journ. of Analytical Chem., 1981, v.36, p.2160.

10. Kabata-Pendias A. — Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Inc. Boca Ration, Florida, 1984.

Рукопись поступила 23 июня 1999 года.