

АППАРАТУРА И МЕТОДЫ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 551.510.4

**А.В. Андронова, И.Г. Гранберг, Д.П. Губанова,
Б.В. Зудин, М.А. Иорданский, В.А. Лебедев, В.М. Минашкин,
И.А. Невский, Ю.И. Обвинцев**

**Пространственно-временное распределение
и элементный состав атмосферного аэрозоля
на трассе Москва—Хабаровск**

НИФХИ им. Л.Я. Карпова, г. Москва

Поступила в редакцию 11.07.2006 г.

Приводятся данные элементного анализа грунта полотна железной дороги и атмосферных аэрозолей, корреляционные связи между элементами и размером частиц, коэффициенты обогащения аэрозолей и грунта полотна железной дороги. Результаты получены в двух экспедициях «TROICA» по маршруту Москва—Хабаровск—Москва: в феврале—марте 1998 г. и июне—июле 2000 г. Измерения проводились на маршруте протяженностью более 8000 км в пяти природно-территориальных комплексах. Определены различия элементного состава атмосферного аэрозоля в зимний и летний периоды.

Введение

Важными параметрами атмосферных аэрозолей, характеризующими их физико-химические свойства и экологическое воздействие на окружающую среду, являются массовая концентрация, элементный состав и функция распределения частиц по размерам. Знание этих параметров дает возможность моделировать аэродисперсную систему, процессы образования, трансформации и переноса аэрозолей в атмосфере, а также определять источники загрязнения [1–4].

Железная дорога является работающим промышленным предприятием, обеспечивающим перевозку различных грузов, включая нефть, полиметаллические руды, уголь и т.п. Перевозка грузов приводит к загрязнению атмосферного воздуха, грунта полотна железной дороги, балластной призмы и почв землеотводов при их проливах, пылении, испарении. Ежегодно [5] при перевозках теряется около 3,3 млн т руды, 0,15 млн т солей, 0,36 млн т минеральных удобрений. Кроме того, в результате износа подвижного состава, рельсов и контактных проводов происходит загрязнение грунта полотна железной дороги смазочными маслами и тяжелыми металлами. Объекты железнодорожного транспорта выбрасывают в атмосферный воздух около 5 млн т вредных веществ ежегодно, из них около 1,6 млн т — от передвижных источников. Это выбросы из выхлопных труб тепловозов и дизельных поездов.

В зимний период загрязнение увеличивается за счет использования печного отопления вагонов. Со стационарных объектов железнодорожного транспорта в атмосферу ежегодно попадает 80 тыс. т твердых частиц, 70 тыс. т сернистого андигрида,

20 тыс. т диоксида азота, 4 тыс. т сажи, 90 тыс. т пятиоксида ванадия, 5 тыс. т свинца, десятки тонн других опасных веществ.

Существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха над территорией железной дороги вносят не принадлежащие ей объекты: крупные города и промышленные центры, добывающие предприятия, вблизи которых проходит железная дорога, газо-, нефте- и продуктопроводы, проходящие по территории, прилегающей к железной дороге, и т.п. Значительный вклад в изменение газового и аэрозольного состава атмосферы вносят также различные природные процессы и явления. Заболоченные территории являются генераторами природного метана и оксида углерода, а при лесных пожарах, кроме оксидов и диоксидов углерода, азота и серы, в атмосферу поступает значительное количество аэрозольных частиц, в том числе сажи.

В работе [6] представлены результаты исследований пространственно-временного изменения массовой и счетной концентраций аэрозолей, полученные с использованием вагона-лаборатории в экспедициях «TROICA» по маршруту Москва—Хабаровск—Москва.

В настоящей статье приводятся данные элементного анализа грунта полотна железной дороги и атмосферных аэрозолей, корреляционные связи между элементами и размером частиц, коэффициенты обогащения аэрозолей и грунта полотна железной дороги. Данные получены в экспедициях TROICA-4 (февраль—март) 1998 г. и TROICA-7 (июнь—июль) 2000 г. Как и в работе [6], результаты анализа полученных данных приводятся для пяти природно-территориальных комплексов (ПТК). Первый ПТК — это Восточно-Европейская равнина (участок маршрута 0–1500 км); второй — Средний

Урал (1500–2100 км); третий – Западно-Сибирская равнина (2100–4200 км); четвертый – горы Южной Сибири (4200–7500 км), а также Прибайкалье и Забайкалье; пятый – Амуро-Зейская равнина (7500–8550 км). Характеристики ПТК и описание измерительного комплекса приведены в работе [6].

Методика отбора проб и анализ полученных данных

В настоящее время мониторинг атмосферного воздуха, а также изучение различных атмосферных процессов, включая пространственное и временное распределение вещества в атмосфере, приобрели широкое распространение. Однако анализ атмосферного воздуха представляет серьезные трудности в основном по двум причинам. Во-первых, атмосфера является неустойчивой системой, так как ее физические и химические характеристики постоянно меняются. Во-вторых, многочисленные химические соединения, подлежащие анализу, содержатся в воздухе в концентрациях от 10^{-12} до 10^{-3} г/м³. Последнее обстоятельство накладывает определенные условия на процедуру отбора аэрозольных проб и методы их анализа.

Большинство применяемых методик предусматривает одновременно с отбором проб их концентрирование, которое осуществляется путем прокачки больших объемов анализируемого воздуха (от 1 до 30 м³), поэтому результат последующего анализа является интегральной величиной за время прокачки (от нескольких минут до нескольких суток). Пробы обычно отбираются либо при прокачке воздуха через специальные фильтры, либо через каскадные импакторы, когда содержащиеся в атмосфере аэрозоли осаждаются на специальные подложки.

В связи с малым количеством вещества, содержащегося в отобранной пробе (0,1–1 мг/см²), актуальным является вопрос выбора физического метода анализа. При использовании для отбора проб относительно чистых фильтров типа АФА-ХА, ФПА и ФПАР для проведения нейтронно-активационного анализа достаточное (пороговое) значение прокачиваемого воздуха можно оценить в 0,5–1 м³, для других методов анализа эта величина порядка 3–10 м³. Эти оценки зависят от степени чистоты атмосферного воздуха и от определяемого элемента, кроме того, от соотношения количеств данного элемента в пробе и фильтре. При объемах воздуха меньше указанных произвести анализ пробы известными методами невозможно.

Пробы грунта с полотна железной дороги, представляющие собой поверхностный слой до глубины порядка 5 см, были взяты сотрудниками ВНИИЖТ в экспедиции ТРОИСА-7 (не менее пяти проб в каждом ПТК). Приблизительно в тех же районах проводился отбор проб на химический анализ. Отбор осуществлялся аспирационным устройством с высоты 4 м от полотна железной дороги на фильтры АФА-ХА с расходом 12 м³/ч в течение 1 ч. Элементный состав проб аэрозолей и грунта

определялся методами рентгено-флуоресцентного анализа (РФА), атомно-абсорбционного анализа и масс-спектрометрии.

Были рассчитаны коэффициенты обогащения элементов в аэрозолях EF [2, 7, 8] относительно кларков (среднего содержания элементов в земной коре), по Виноградову [9], и среднего содержания элементов в грунте полотна железной дороги. Для грунта коэффициент обогащения был определен относительно кларков.

Одновременно с отбором проб аэрозолей проводились измерения массовой и счетной концентраций аэрозольных частиц нефелометром и анализаторами спектра размеров частиц (диаметр) в интервале от 0,15 до 15 мкм [6].

Результаты измерений

Элементный состав грунта полотна железной дороги определяется двумя составляющими: литогенной, отражающей элементный состав почвы тех мест, где он был взят для отсыпки железнодорожной насыпи, и техногенной, связанной с деятельностью железной дороги и окружающих промышленных предприятий.

Общее представление о среднем процентном содержании химических элементов в грунте полотна железной дороги по ПТК, полученное методом РФА, дает табл. 1.

Таблица 1
Среднее значение относительного элементного состава почв полотна железной дороги по ПТК, % мас.

Химический элемент	Природно-территориальный комплекс				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
Si	24,8240	16,8728	21,8710	25,7967	22,4405
Al	2,2588	4,0445	2,6810	6,8448	7,2928
Ca	1,9620	1,3688	1,4069	2,2496	2,3092
Mg	6,9735	10,2088	12,7885	3,5184	1,0527
K	0,5975	0,4653	0,6215	1,2019	1,6152
Fe	16,8868	23,2258	14,7483	11,5816	15,0847
Mn	0,2178	0,2385	0,1759	0,2076	0,2310
Ba	0,2533	0,0615	0,0610	0,1714	0,1170
Sr	0,2557	0,4455	0,5721	0,7058	0,8258
Cs	0,0870	0,0795	0,0694	0,1032	0,1175
P	0,3868	0,3332	0,3434	0,4601	0,3987
S	0,2868	0,3445	0,2760	0,4839	0,3532
Cl	0,0433	0,0935	0,0688	0,0277	0,0598
Br	0,2683	0,1432	0,2828	0,1782	0,2217
I	0,0473	0,0692	0,0509	0,1266	0,1950
V	0,0268	0,0263	0,0215	0,0492	0,0375
Ti	0,1278	0,1513	0,1101	0,3030	0,3500
Ni	0,1408	0,1883	0,2198	0,1262	0,0400
Cu	0,1048	0,1308	0,0540	0,0319	0,0218
Zn	0,0780	0,0795	0,0611	0,1000	0,3640
Sc	0,0009	0,0008	0,0007	0,0006	0,0008
Pb	0,2910	0,3886	0,4648	0,2982	0,3700
Cd	0,0235	0,0490	0,1627	0,0577	0,0722
Se	0,2230	0,1400	0,0667	0,1583	0,1238
Co	0,0555	0,0450	0,0355	0,0450	0,0525
Cr	0,1175	0,1155	0,0735	0,0350	0,0100
Hg	0,8515	0,5990	1,0190	0,5760	0,8220
Mo	1,0915	0,9055	1,8335	0,7375	0,9035
Sn	0,5660	0,2985	0,1435	0,1950	0,1330

В табл. 2 представлены коэффициенты обогащения $EF_{Г-К}$ химических элементов в грунте полотна железной дороги относительно кларков (опорный элемент – алюминий).

Таблица 2
Коэффициент обогащения элементов $EF_{Г-К}$ в почве полотна железной дороги по ПТК относительно кларков (опорный элемент алюминий)

Химический элемент	Природно-территориальный комплекс				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
	EF				
Si	3,00	1,15	2,25	1,00	0,85
Ca	2,35	0,95	1,45	0,87	0,85
Mg	13	11	21	2,00	0,64
K	0,85	0,37	0,75	0,57	0,71
Fe	13	10	10	3,00	4,00
Mn	8,00	5,00	5,00	2,00	3,00
Ba	14	2,00	3,00	3,00	2,00
Sr	27	26	51	24	27
Cs	838	428	563	328	351
P	15	7,00	11	6,00	5,00
S	22	15	18	12	8,00
Cl	9,00	11	12	2,00	4,00
Br	4550	1358	4044	999	1166
I	4208	3445	3820	3724	5383
V	11	6,00	7,00	6,00	5,00
Ti	1,00	0,67	0,71	0,83	0,89
Ni	86	65	114	26	8,00
Cu	79	55	35	8,00	5,00
Zn	33	19	22	14	46
Sc	3,00	1,61	2,12	0,71	0,92
Pb	648	484	873	219	255
Cd	6801	7510	37585	5221	6130
Se	167800	55792	40050	37269	27349
Co	116	56	48	26	33
Cr	130	76	53	11	3,00
Hg	385980	161171	301893	74653	112961
Mo	37333	18384	40987	7212	9369
Sn	8518	1863	1411	839	607

Из табл. 2 следует, что для большинства элементов, включая Si, Ca, Mn, K, Ti и Sc, которые являются литогенной основой состава грунта, значения коэффициента обогащения $EF_{Г-К} \leq 10$, а в ряде случаев $EF_{Г-К} \leq 1$. Для K коэффициент обогащения $EF_{Г-К} \leq 1$ во всех ПТК, для Ti в четырех, а для Ca в трех ПТК. Коэффициенты обогащения грунта элементами Mg, Fe, Ba, S, Cu, P, Cl, Ni, V и Cr в некоторых ПТК $EF_{Г-К} \leq 10$, а в некоторых $EF_{Г-К} > 10$, что указывает на возможное техногенное загрязнение грунта этими элементами в отдельных ПТК. Коэффициенты обогащения грунта элементами Sr, Cs, Br, I, Zn, Pb, Cd, Se, Co, Hg, Mo и Sn значительно превышают 10 практически во всех ПТК, что, возможно, связано с техногенным загрязнением и их аккумуляцией в грунте. Наиболее загрязнен грунт железнодорожного полотна в 1-м ПТК – 21 элемент имеет высокий коэффициент обогащения, а наиболее чистый грунт в 5-м ПТК – 12 элементов имеют высокий коэффициент обогащения.

В табл. 3 приведены средние значения массовой концентрации химических элементов в составе атмосферного аэрозоля для каждого из обследован-

ных ПТК в летний и зимний периоды. Данные получены путем усреднения, не менее пяти проб в каждом ПТК (знак «***» означает, что элемент не определялся).

Используя подход, предложенный в [7], разделим химические элементы, содержащиеся в атмосферном аэрозоле, на две группы:

– макрокомпоненты (Si, Al, Ca, Mg, K, Fe), которые чаще всего рассматриваются как группа естественных литогенных элементов;

– микрокомпоненты (Mn, Ba, Sr, Cs, P, S, Cl, Br, I, V, Ti, Ni, Cu, Zn, Sc, Pb, Cd, Se, As, Be, Co, Cr, Hg, Li, Mo, Na, Sn).

Во вторую группу входят элементы, которые могут поступать в атмосферный аэрозоль как от естественных, так и техногенных источников, поэтому граница между элементами условна.

Анализ табл. 3 показывает, что суммарная массовая концентрация макрокомпонентов в летний период существенно превышает их содержание зимой, что можно объяснить более высокой степенью выноса и последующей эмиссией в атмосферу аэрозолей с поверхностных слоев почвы региона и грунта полотна железной дороги.

Суммарная массовая концентрация микрокомпонентов в зимний период превышает летнюю практически во всех ПТК, за исключением 5-го ПТК. Данное обстоятельство может указывать на наличие дополнительных, в том числе и техногенных, источников поступлений аэрозолей в атмосферу в этот период.

В табл. 4 представлены коэффициенты обогащения $EF_{А-К}$ химических элементов в аэрозолях относительно кларков (опорный элемент алюминий), показывающие количественное отклонение содержания каждого элемента от его среднего содержания в земной коре. Авторы [10, 11] предполагают, что химические элементы в составе аэрозолей, для которых значение $EF_{А-К} \leq 10$, имеют естественное, в основном литогенное, происхождение. Химические элементы, для которых значение $EF_{А-К} > 10$, могут быть как природного (извержение вулканов, морской аэрозоль и пр.), так и техногенного происхождения.

Был проведен расчет коэффициентов обогащения $EF_{А-Г}$ аэрозолей относительно элементного состава подстилающей поверхности, в нашем случае грунта полотна железной дороги. Это связано с тем, что при движении вагона-лаборатории, а особенно при прохождении встречных поездов, резко возрастает эмиссия аэрозолей с поверхности грунта.

Коэффициенты обогащения $EF_{А-Г}$ аэрозолей относительно грунта полотна железной дороги представлены в табл. 5.

Как в летний, так и в зимний периоды, наибольшее количество химических элементов, для которых значение $EF_{А-К} > 10$, наблюдалось в 2-м ПТК (Урал), что, очевидно, связано со спецификой данного промышленного района, наличием в нем месторождений и промышленных предприятий, являющихся дополнительными источниками поступления этих элементов в атмосферу.

Таблица 3

Средние значения массового содержания ($\mu\text{г}/\text{м}^3$) химических элементов в составе атмосферного аэрозоля

Химический элемент	Природно-территориальный комплекс									
	1-й		2-й		3-й		4-й		5-й	
	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима
Si	0,2547	1,1244	0,0709	1,1008	0,2044	0,1117	0,3081	0,7129	0,5773	0,5620
Al	13,2366	2,3072	8,1638	0,8428	13,0238	0,9772	25,4083	2,2989	23,6452	1,8579
Ca	5,0802	3,0430	2,5325	1,5643	3,4845	1,7206	5,5919	3,4088	5,0027	3,0979
Mg	2,6873	0,4623	1,8398	0,3321	2,3504	0,8333	4,1415	0,8150	3,6672	0,6722
K	1,4312	2,8809	1,1458	2,0916	1,7821	0,7708	3,6917	1,7489	3,3929	3,1511
Fe	8,7283	6,2486	16,8686	6,3818	9,0828	4,7085	16,8537	16,1898	11,2473	24,6080
Mn	0,1005	0,1734	0,1151	0,0841	0,0938	0,0605	0,1966	0,2092	0,1629	0,2232
Ba	0,0056	***	0,0147	***	0,0158	***	0,0178	***	0,0274	***
Sr	0,0037	0,0490	0,0853	0,0153	0,1396	0,0334	0,2002	0,0373	0,2942	0,0279
Cs	0,0110	***	0,0216	***	0,0166	***	0,0231	***	***	***
P	0,1909	1,0002	0,0539	0,7177	0,1349	0,1454	0,1550	0,5122	0,2296	0,4727
S	0,0334	***	0,0458	***	0,0337	***	0,0385	***	0,0893	***
Cl	0,2689	***	0,3645	***	0,2695	***	0,0617	***	0,5378	***
Br	0,0336	0,0050	0,0349	0,0038	0,0616	0,0026	0,0229	0,0071	0,0638	0,0165
I	0,0088	***	0,0171	***	0,0077	***	0,0037	***	0,0204	***
V	0,0043	1,4196	0,0028	0,0354	0,0030	0,0321	0,0036	0,0208	0,0033	0,0189
Ti	0,0166	0,1037	0,0119	0,0348	0,0138	0,0260	0,0228	0,0858	0,0145	0,0663
Ni	0,4436	0,8934	0,2231	0,1510	0,1905	0,0580	0,5604	0,0831	0,5575	0,1070
Cu	0,4893	0,1678	2,9764	0,3153	1,6707	0,2735	1,3014	0,4440	2,4415	0,2796
Zn	0,1346	0,4572	0,1760	0,5319	0,0630	0,1729	0,1398	1,1147	0,0643	0,4614
Sc	0,0009	0,0017	0,0002	0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0002	0,0007
Pb	0,0281	0,3324	0,0496	0,2356	0,0460	0,0654	0,0363	0,2752	0,0518	0,2754
Cd	0,0008	0,0420	0,0005	0,0092	0,0007	0,0026	0,0011	0,0094	0,0008	0,0104
Se	0,0006	0,0066	0,0004	0,0055	0,0003	0,0022	0,0003	0,0027	0,0005	0,0032
As	0,0021	0,0144	0,0019	0,0099	0,0015	0,0112	0,0033	0,0115	0,0026	0,0198
Be	0,0000	0,0003	0,0000	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001
Co	0,0027	0,0158	0,0029	0,0177	0,0023	0,0015	0,0048	0,0056	0,0043	0,0050
Cr	0,0415	0,1510	0,0388	0,0890	0,0423	0,0450	0,0768	0,0681	0,0838	0,0861
Hg	0,0012	0,0032	0,0003	0,0042	0,0003	0,0018	0,0008	0,0031	0,0008	0,0020
Li	0,0033	0,0035	0,0024	0,0030	0,0040	0,0011	0,0073	0,0029	0,0081	0,0023
Mo	0,0014	0,0248	0,0020	0,0182	0,0014	0,0016	0,0025	0,0135	0,0028	0,0139
Na	0,7730	5,0143	0,4097	2,6984	0,6626	2,9193	1,0494	2,3536	1,7988	2,5573
Sn	0,0030	0,0218	0,0028	0,0640	0,0011	0,0226	0,0024	0,0329	0,0053	0,0408
Σ	34,0217	25,9675	35,276	17,3577	33,405	13,0011	59,9281	30,4676	53,999	38,6396

Таблица 4

Коэффициент обогащения элементов EF_{A-K} в аэрозолях относительно кларков (опорный элемент алюминий)

Химический элемент	Природно-территориальный комплекс									
	1-й		2-й		3-й		4-й		5-й	
	EF									
	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Si	0,005	0,13	0,002	0,36	0,004	0,03	0,003	0,08	0,007	0,08
Ca	1,0	4,0	0,81	5,0	0,72	5,0	0,6	4,0	0,63	5,0
Mg	0,89	0,91	1,0	1,7	0,82	3,7	0,71	1,5	0,67	1,6
K	0,32	4,0	0,52	8,0	0,43	3,0	0,49	2,0	0,52	5,0
Fe	1,15	5,0	4,0	13	1,2	8,0	1,1	12	0,78	23
Mn	0,61	6,0	1,1	8,0	0,58	5,0	0,62	7,0	0,59	9,0
Ba	0,05	***	0,21	***	0,15	***	0,09	***	0,15	***
Sr	0,07	5,0	2,5	4,0	2,5	8,0	1,9	4,0	2,9	4,0
Cs	18	***	58	***	28	***	20	***	***	***

Пространственно-временное распределение и элементный состав атмосферного аэрозоля на трассе...

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P	1,25	38	0,55	74	0,91	13	0,52	19	0,85	22
S	0,39	***	0,95	***	0,45	***	0,25	***	0,65	***
Cl	9,6	***	21,1	***	9,8	***	1,1	***	9,8	***
Br	97	84	164	171	181	102	35	118	103	341
I	134	***	422	***	119	***	29	***	174	***
V	0,29	86	0,30	38	0,21	29	0,13	8	0,13	9,0
Ti	0,02	0,78	0,03	0,69	0,02	0,52	0,02	0,71	0,01	0,59
Ni	47	537	38	249	20	82	31	50	33	80
Cu	63	125	624	641	220	479	88	331	177	258
Zn	9,0	192	21	612	5,0	172	5,0	470	3,0	241
Sc	0,54	0,31	0,19	0,89	0,04	0,21	0,11	0,61	0,07	0,69
Pb	11	725	31	1406	18	337	11	602	11	746
Cd	37	11263	38	6728	32	1635	27	2541	20	3481
Se	72	4624	74	10414	37	3693	19	1865	32	2763
As	9,0	359	14	677	7,0	661	7,0	288	6,0	614
Be	0,05	3,0	0,12	3,0	0,25	2,0	0,11	2,0	0,12	2,0
Co	0,89	31	1,6	94	0,81	7	0,78	11	0,82	12
Cr	7,0	155	11	250	8,0	109	7,0	70	8,0	110
Hg	86	1352	34	4843	24	1809	29	1295	32	1065
Li	0,62	4,0	0,75	9,0	0,78	3,0	0,72	3,0	0,89	3,0
Mo	8,0	786	18	1582	8,0	118	7,0	428	9,0	547
Na	0,23	7,0	0,15	9,0	0,15	9,0	0,12	3,0	0,25	4,0
Sn	7,0	304	11	2445	3,0	746	3,0	461	7,0	708

Таблица 5

Коэффициент обогащения элементов EF_{A-G} в аэрозоле относительно почвы полотна железной дороги
(опорный элемент алюминий)

Химический элемент	Природно-территориальный комплекс									
	1-й		2-й		3-й		4-й		5-й	
	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима
Si	0,002	0,04	0,002	0,31	0,002	0,01	0,003	0,08	0,008	0,10
Ca	0,38	1,5	0,89	5,5	0,51	3,35	0,67	5,0	0,67	5,25
Mg	0,07	0,06	0,09	0,16	0,04	0,18	0,32	0,71	1,1	2,5
K	0,39	4,7	1,2	21,55	0,58	3,4	0,78	4,0	0,62	7,65
Fe	0,09	0,36	0,39	1,3	0,10	0,88	0,42	4,0	0,29	6,4
Mn	0,08	0,78	0,22	1,7	0,13	0,94	0,32	3,0	0,21	3,8
Ba	0,004	***	0,12	***	0,05	***	0,03	***	0,07	***
Sr	0,002	0,19	0,09	0,16	0,05	0,16	0,08	0,16	0,09	0,13
Cs	0,02	***	0,09	***	0,05	***	0,06	***	***	***
P	0,08	2,5	0,08	10,3	0,08	1,2	0,09	3,3	0,21	4,65
S	0,02	***	0,07	***	0,03	***	0,02	***	0,08	***
Cl	1,1	***	1,9	***	0,78	***	0,62	***	2,8	***
Br	0,02	0,02	0,11	0,13	0,04	0,03	0,03	0,12	0,09	0,29
I	0,03	***	0,12	***	0,03	***	0,01	***	0,03	***
V	0,03	52	0,05	6,45	0,03	4,1	0,02	1,0	0,03	2,0
Ti	0,02	0,79	0,04	1,1	0,03	0,65	0,02	1,0	0,01	0,74
Ni	0,51	6,2	0,62	3,85	0,18	0,72	1,2	2,0	4,3	10,5
Cu	0,78	1,6	11	11,55	6,0	13,9	11	41	34	50
Zn	0,29	5,75	1,1	32	0,21	17,8	0,42	33	0,06	5,25
Sc	0,23	0,11	0,11	0,58	0,02	0,11	0,19	0,89	0,53	0,76
Pb	0,02	1,1	0,06	2,9	0,02	0,39	0,03	2,7	0,04	2,9
Cd	0,01	1,65	0,01	0,90	0,001	0,04	0,005	0,49	0,003	0,57
Se	0,0004	0,03	0,001	0,19	0,001	0,09	0,0001	0,05	0,001	0,10
Co	0,01	0,26	0,029	1,7	0,02	0,14	0,031	0,40	0,025	0,36
Cr	0,06	1,2	0,15	3,3	0,145	2,0	0,65	6,3	2,5	32,7
Hg	0,0002	0,004	0,0002	0,03	0,0001	0,01	0,0004	0,02	0,0003	0,01
Mo	0,0002	0,02	0,001	0,09	0,0002	0,003	0,001	0,06	0,001	0,06
Sn	0,001	0,04	0,006	1,3	0,002	0,53	0,004	0,55	0,012	1,2

Наличие разных источников поступления химических элементов в атмосферу подтверждает корреляционная зависимость между массовым содержанием химических элементов и размером частиц (табл. 6).

Таблица 6

Корреляция между дисперсным и элементным составом аэрозолей

Химический элемент	Фракция размеров, мкм	Коэффициент корреляции
Si	0,4–0,5 и 3,0–5,0	0,8–0,9
	0,5–1,0	0,6–0,7
Al	0,2–3,0	0,8–1,0
	3,0–5,0	0,7–0,8
Ca	0,15–0,25	0,8–0,9
	0,25–0,4 и 0,5–1,0	0,74
Mg	0,2–2,0	0,8–0,9
	2,0–3,0	0,73
K	0,25–3,0	0,8–1,0
	0,2–0,25 и 3,0–5,0	0,7–0,8
Fe	0,25–0,3	0,5
Mn	0,2–1,0 и 2,0–3,0	0,8–1,0
	1,0–2,0	0,77
Ba	2,0–5,0	0,8–0,9
	0,4–0,5	0,79
Sr	0,4–5,0	0,8–0,95
Cs	2,0–5,0	0,8–0,9
	0,25–1,0	0,5–0,6
P	0,4–0,5 и 3,0–5,0	0,64
	0,15–0,25 и 0,5–2,0	0,5–0,6
S	0,4–0,5	0,8
	3,0–5,0	0,68
Cl	10,0–15,0	0,77
Br	3,0–5,0	0,66
I	10,0–15,0	0,68
V	0,15–0,2	0,83
	0,2–0,3	0,58
Ti	0,2–1,0	0,9–0,95
	0,15–0,2 и 1,0–2,0	0,7–0,8
Ni	0,15–0,7	0,8–0,95
	0,7–1,0	0,78
Cu	–	–
Zn	–	–
Sc	0,15–0,2	0,8
Pb	–	–
Cd	0,2–0,4	0,8–0,85
	0,5–2,0	0,7–0,8
Se	0,15–0,2	0,53
As	0,2–0,4 и 0,5–1,0	0,9–1,0
	0,15–0,2 и 0,5–1,0	0,6–0,8
Be	1,0–3,0	0,8–0,9
	0,5–1,0	0,5–0,55
Co	0,2–1,0	0,9–1,0
	0,15–0,2 и 2,0–3,0	0,6–0,8
Cr	0,25–3,0	0,8–1,0
	0,2–0,25 и 3,0–5,0	0,7–0,8
Hg	0,15–0,2	0,89
	0,2–0,25	0,65
Li	0,25–5,0	0,8–1,0
	0,2–0,25	0,72
Mo	0,4–1,0	0,8–0,9
	0,2–0,4 и 1,0–5,0	0,6–0,8
Na	0,4–0,5 и 3,0–5,0	0,8–0,9
	0,2–0,4 и 0,5–3,0	0,6–0,8
Sn	0,4–0,5	0,77

Данные получены в летний период при синхронном отборе аэрозольных проб и измерении счетной концентрации аэрозольных частиц вдоль всей трассы анализаторами спектра размера частиц в интервале от 0,15 до 15 мкм. Результаты измерений счетной концентрации аэрозольных частиц усреднялись по интервалу времени, соответствующему отбору проб для каждой фракции частиц.

Как следует из табл. 6, элементы Si, Al, Ca, Mg, K, Mn, Ba, Sr, Cl, Br, I имеют значимый коэффициент корреляции $K_{кор} > 0,7$, в основном с крупными частицами $d = 0,5-10,0$ мкм, элементы Fe, V, Se, Li, Hg, Sn с мелкими частицами $d = 0,15-0,5$ мкм, а элементы Cs, P, S, Ti, Ni, Cd, Co, Cr, Mo, Na как с мелкими, так и с крупными частицами.

Заключение

Грунт полотна железной дороги, во всех без исключения ПТК, в значительной степени аккумулирует Sr, Cs, Br, I, Zn, Ni, Pb, Cd и Se. В летний период грунт обогащает атмосферные аэрозоли как минимум семью элементами – Cs, Br, I, Pb, Cd, Se и Hg – во всех ПТК, кроме того, Ni в 1-, 2- и 3-м ПТК, Cu в 1-м ПТК, а Cr, Mo и Sn во 2-м ПТК. В зимний период – четырьмя элементами – Br, Se, Hg и Mo – во всех ПТК, Cd во 2-, 3-, 4- и 5-м ПТК, Ni и Pb в 1-м ПТК, а Co в 4-м и 5-м ПТК.

Микрокомпоненты, как в грунте, так и в аэрозолях, имеют коэффициенты обогащения, свидетельствующие о значительном превышении их среднего содержания в земной коре.

Для химических элементов Fe, Cl, Ni, Cu, Zn, Pb, As, Co, Cr, Mo и Sn степень обогащения аэрозолей зависит от ПТК. Как в летний, так и в зимний периоды наибольшее количество обогащенных элементов наблюдается во 2-м ПТК (Урал), что, очевидно, связано со спецификой данного промышленного района, наличием в нем месторождений и промышленных предприятий, являющихся дополнительными источниками поступления этих элементов в атмосферу.

Значимые корреляционные зависимости имеют те химические элементы, которые могут поступать в атмосферу от общих источников и содержаться в частицах одинаковой дисперсности.

Наличие разных источников поступления химических элементов в атмосферу подтверждает корреляционная зависимость между массовым содержанием химических элементов и размером частиц.

Работа проведена в рамках проектов МНТЦ № 1235, 2773, 2770.

1. *Ивлев Л.С.* Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1982. 382 с.
2. *Кудряшов В.И.* Анализ элементного состава аэрозолей физическими методами: Межвуз. сб. // Проблемы физики атмосферы. Вып. 20. Физика и химия атмосферных аэрозолей. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. С. 97–130.
3. *Огородников Б.И., Будыка А.К., Скитович В.И., Бродовой И.В.* Характеристики аэрозолей пограничного

- слоя атмосферы над Москвой // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 1996. Т. 36. № 2. С. 163–171.
4. *Ивлев Л.С., Жуков В.М., Кудряшов В.И., Погорский С.Н.* Исследование микроструктуры и химического состава стационарных аэрозолей // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1989. Т. 25. № 3. С. 128–136.
 5. *Контроль химических и биологических параметров окружающей среды* / Под ред. проф. Л.К. Исаева. СПб., 1998.
 6. *Andronova A.V., Granberg I.G., Grisenko A.M., Gubanova D.P., Zudin B.V., Iordanskii M.A., Lebedev V.A., Nevskii I.A., Obvintsev Yu.I.* Studies of the spatial and temporal distribution of surface aerosol along the Trans-Siberian railroad // *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 2003. V. 39. Suppl. 1. P. S27–S34.
 7. *Ивлев Л.С., Кудряшов В.И., Ариас Вильянуэва Э.М.* Вариации концентрации и химического состава аэрозолей приземного слоя атмосферы в западных штатах Мексики // Тр. 3-й Междунар. конф. «Естественные и антропогенные аэрозоли». СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. С. 54–67.
 8. *Донченко В.К., Ивлев Л.С.* Об идентификации аэрозолей разного происхождения // Тр. 3-й Междунар. конф. «Естественные и антропогенные аэрозоли». СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. С. 41–52.
 9. *Перельман П.И.* Геохимия. М.: Высш. школа, 1979.
 10. *Виноградова А.А., Малков И.П., Полиссар А.В., Храмов Н.Н.* Элементный состав приземного атмосферного аэрозоля арктических районов России // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 1993. Т. 29. № 2. С. 164–172.
 11. *Толмачев Г.Н.* Горизонтальное распределение поэлементного состава атмосферного аэрозоля над территорией СССР // Тр. 2-й Междунар. конф. «Естественные и антропогенные аэрозоли». СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. С. 142–151.

A.V. Andronova, I.G. Granberg, D.P. Gubanova, B.V. Zudin, M.A. Iordanskii, V.A. Lebedev, V.M. Minashkin, I.A. Nevskii, Yu.I. Obvintsev. **Spatial-temporal distribution and element composition of atmospheric aerosol along the rail-way Moscow–Khabarovsk.**

Data on elemental analysis of the permanent way soil and atmospheric aerosols, correlations between elements and particle sizes, coefficients of enrichment for aerosols and permanent way soil are presented. The results were obtained in two TROIKA expeditions of the Moscow–Khabarovsk–Moscow route: in February–March of 1998 and June–July of 2000. The route length is more than 8000 km crossing five nature–territory complexes. The difference between element composition of aerosols in winter and summer periods is determined.