

МИНЕРАЛОГИЯ ПЫЛЕВЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ Г. ТОМСКА

Филимоненко Е.А., Таловская А.В., Языкков Е.Г., Чумак Ю.В., Ильенок С.С.
 ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
 Томск, e-mail: fili.008@mail.ru

Представлены результаты детальных многолетних исследований минерального и микроэлементного состава пылевых аэрозолей в зонах воздействия предприятий теплоэнергетики и строительной индустрии г. Томска по данным снеговой съемки. Были установлены основные химические элементы и минеральные фазы техногенных образований, являющиеся маркерами для выбросов изучаемых производств. Установлено, что пылевые аэрозоли из зоны воздействия теплоэлектростанции обогащены Na, Ba, Sb, La, Sm, Yb, Lu, U, Ta, As, Fe, Sr, из зоны воздействия кирпичных заводов – редкоземельными элементами, Na, Sc, Hf, Rb, а для пылевых атмосферных аэрозолей из зоны совместного размещения локальных котельных и заводов по производству железобетонных изделий характерны повышенные концентрации Ca, Sr, As, U. Специфичными минеральными фазами и техногенными образованиями для пылевых аэрозолей, осевших на снеговой покров в зоне воздействия теплоэлектростанции, являются кварц, альбит, диопсид, хлорит, муллит, частицы сажи, угля и шлака, галенит, ковеллин, антимонит, барит, пирит, халькопирит, магнетит, гематит, ферросфериулы; для проб пылевых аэрозолей из зоны воздействия кирпичных заводов типичными являются кварц, альбит, мусковит, кирпичная крошка и спекшиеся частицы кирпичной крошки; пробы пылевых атмосферных аэрозолей из зоны воздействия заводов по производству железобетонных изделий от других проб отличает повышенное содержание в них кальцита и частиц цементной пыли.

Ключевые слова: пылевые аэрозоли, снег, минеральный состав, техногенные образования, тяжелые металлы, редкоземельные и радиоактивные элементы

MINERAL COMPOSITION OF SOLID AEROSOLS PARTICLES IN IMPACT ZONES OF TOMSK'S INDUSTRIAL ENTERPRISES

Filimonenko E.A., Talovskaya A.V., Yazikov E.G., Chumak Y.V., Penok S.S.
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: fili.008@mail.ru

The paper presents the results of detailed research of mineral and microelement compositions of atmospheric aerosols solid particles in impact zones of Tomsk's thermal power plant and the construction industry according to snow survey. Main polluting elements and mineral anthropogenic phases are identified as markers of different industries. The dust aerosols from impact zone of power plant enriched with Na, Ba, Sb, La, Sm, Yb, Lu, U, Ta, As, Fe, Sr, the dust aerosols from impact zone of brickworks contain elevated concentrations of REE, Na, Sc, Hf, Rb, and atmospheric dust aerosols from the co-location area of local boiler plants and reinforced concrete plant are characterized by elevated concentrations of Ca, Sr, As, U. Quartz, albite, diopside, chlorite, mullite, soot, coal, slag, galena, covellite, stibnite, barite, pyrite, chalcocopyrite, magnetite, hematite, iron spherules are specific mineral and anthropogenic phases of aerosols solid particles from impact zone of power plants. Quartz, albite, muscovite, broken brick and sintered particles of brick chips are typical for aerosols solid particles from brick factories's zone. Atmospheric aerosols from concrete plant's impact zone distinguished high amounts of calcite in them and cement dust/

Keywords: solid particles aerosols, snow, mineral composition, anthropogenic mineral phases, heavy metals, rare earth and radioactive elements

В настоящее время одним из способов оценки аэротехногенной составляющей поступления загрязняющих веществ в окружающую среду является исследование состава снежного покрова [2, 3, 7].

В г. Томске располагается значительное количество различных промышленных предприятий, которые находятся в основном в зоне жилой застройки. По данным Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области на территории города Томска одним из наиболее загрязненных участков является зона суммарного воздействия городской районной теплоэлектростанции [11]. Также, по результатам площадной снегогеохимической съемки, проведенной на территории города Томска в 2007 г. [10], помимо очага повышенного загрязнения атмосферы в центре города, обусловленного деятель-

ностью данной теплоэлектростанции, установлены ареалы техногенного загрязнения, приуроченные к местам размещения промышленных объектов строительной индустрии (кирпичные заводы) и микрорайонам с частной малоэтажной застройкой и локальными котельными.

Методика и методы исследования

С целью уточнения и детализации геохимических и минералогических характеристик пылевых атмосферных выпадений проводился мониторинг загрязнения снежного покрова с 2009 по 2013 годы в зонах воздействия промышленных предприятий города – городской районной теплоэлектростанции, кирпичных заводов, предприятий по производству железобетонных изделий, где еще размещается сектор частной застройки и локальные котельные (рис. 1). Отбор проб производили по векторной сети от промплощадок в направлении основного ветрового переноса загрязнений, согласно преобладающему

направлению ветра (южные и юго-западные ветра). В каждой из рассматриваемых зон ежегодно отбиралось по 5 проб снега, общее количество проб составило 75. Работы по отбору и подготовке снежных проб выполнялись с учетом методических рекомендаций, приводимых в [3], руководстве по контролю загрязнения атмосферы [8] и на основе многолетнего практического опыта эколого-геохимических исследований на территории западной Сибири [2, 10, 11]. Объект исследования – твердый осадок снега, содержащий осевшую атмосферную пыль.

Изучение минерального состава проб твердого осадка снега проводились в международном инновационном научно-образовательном центре «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ.

Электронно-микроскопические исследования выполнялись на сканирующем электронном микроскопе

фирмы Hitachi S-3400N с энергодисперсионной приставкой для микроанализа Bruker. Разрешающая способность микроскопа составляет 3 нм, что позволило получить высококачественные изображения исследуемых проб. Помимо этого отдельные пробы твердого осадка снега были исследованы на рентгеновском дифрактометре Bruker Phaser D2. Под бинокулярным стереоскопическим микроскопом (Leica ZN4D с видео-приставкой), в пробах определяли процентное соотношение всех минеральных и техногенных составляющих методом сравнения с эталонными палетками, согласно запатентованному способу определения загрязненности снежного покрова техногенными компонентами [6]. Элементный состав всех проб был определен инструментальным нейтронно-активационным анализом в аттестованной ядерно-геохимической лаборатории центра (аналитики Судыко А.Ф., Богутская Л.В.).

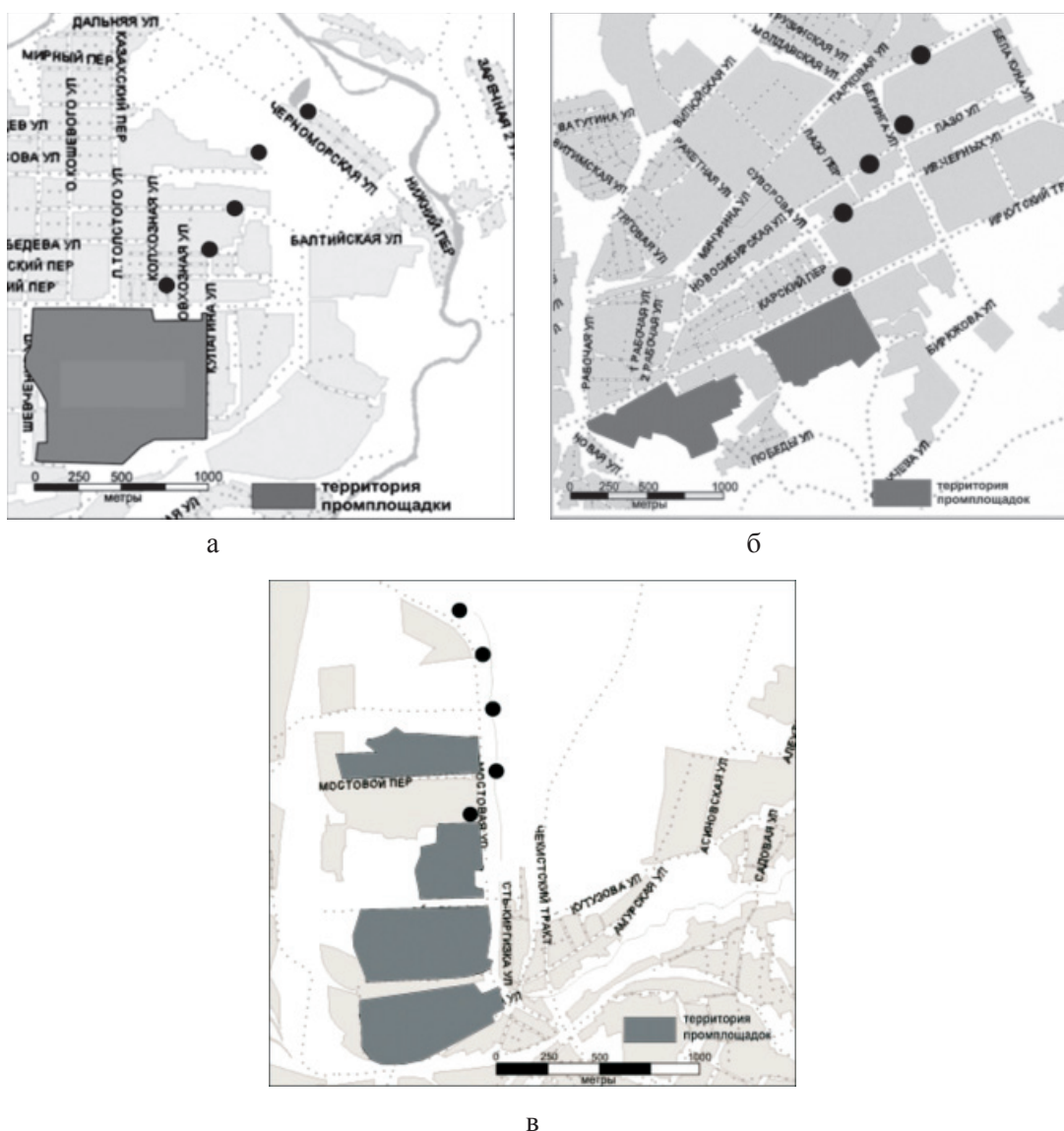


Рис. 1. Схема отбора проб снега в зонах воздействия промышленных предприятий г. Томска (2009–2013 гг.):

а – зона воздействия городской районной теплоэлектростанции;

б – зона воздействия кирпичных заводов;

в – зона совместного размещения сектора частной застройки с локальными котельными и предприятий по производству железобетонных изделий

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты многолетних наблюдений показали, что в пробах из зоны воздействия кирпичных заводов приоритетными элементами-загрязнителями являются Na, Sc, Rb, группа редкоземельных элементов (легких (La, Ce, Sm) и тяжелых (Tb, Yb, Lu) лантаноидов), Hf и Th (таблица). По данным рентгеноструктурного анализа, в пробах обнаружено содержание кварца на уровне 54%, альбита – 28%, мусковита – 12%, кальцита, доломита, магнетита и муллита – 1–2%. Изучение проб под бинокулярным микроскопом показало, что минеральные частицы (50–81%) преобладают над техногенными образованиями

(19–50%). Специфическими техногенными частицами являются кирпичная крошка (10–15%) и спекшиеся частицы кирпичной крошки (13–25%). Сопоставив геохимический и вещественный состав проб пылевых атмосферных выпадений, можно отметить, что вероятный источник поступления типоморфных элементов-загрязнителей связан с видом используемого сырья при производстве кирпича и керамической продукции на заводах. Сырье – глины, суглинки, пески месторождений Томского района, некоторые из них являются вскрышными породами россыпного Туганского и Георгиевского циркон-ильменитовых месторождений, содержащих монацит и другие минералы, в которых в рассеянной форме находятся редкоземельные элементы.

Содержание химических элементов в твердом осадке снега из зон воздействия некоторых промышленных предприятий г. Томска (мг/кг)

Элемент	Фон [21]	Томск [17]	Городская районная тепло-электростанция	Предприятия по производству железобетонных изделий и сектор частной застройки с локальными котельными	Кирпичные заводы
Na	0,2	0,7	0,7	0,7	1,2
Ca	0,8	1,2	1,4	2,8	1,5
Sc	7,1	8,6	10,4	10,1	12,3
Fe	1,9	2,7	4,4	3,5	3,5
As	0,5	3,8	13,1	12,0	10,0
Br	2,9	12,1	5,5	5,0	3,0
Rb	55,0	46,9	49,6	46,3	72,2
Sr	100	178	346	352	168
Sb	0,2	6,8	4,9	4,8	2,5
Ba	100	858	1863	676	554
∑TR*	15,2	87,6	111	114	113
Hf	2,2	4,7	5,8	5,1	7,2
Ta	0,1	0,8	1,0	1,0	1,0
Th	2,9	6,7	8,4	8,8	8,6
U	0,2	2,77	4,0	4,3	3,1
типоморфные минеральные фазы и техногенные образования	кварц, альбит, диопсид, хлорит, муллита, частицы сажи, угля и шлака; галенит, ковеллин, антимонит, барит, пирит, халькопирит, магнетит, гематит, ферросферулы			кальцит, частицы цементной пыли	кварц, альбит, мусковит; кирпичная крошка, спекшиеся частицы кирпичной крошки

Примечание: * – сумма содержаний редкоземельных элементов (La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu).

В пробах из зоны воздействия предприятий по производству железобетонных изделий приоритетными элементами-загрязнителями являются Ca, Sr, As и U. В цементной пыли были определены повышенные концентрации Sr и U [11]. Кроме того, отмечаются значимые отличия от средних

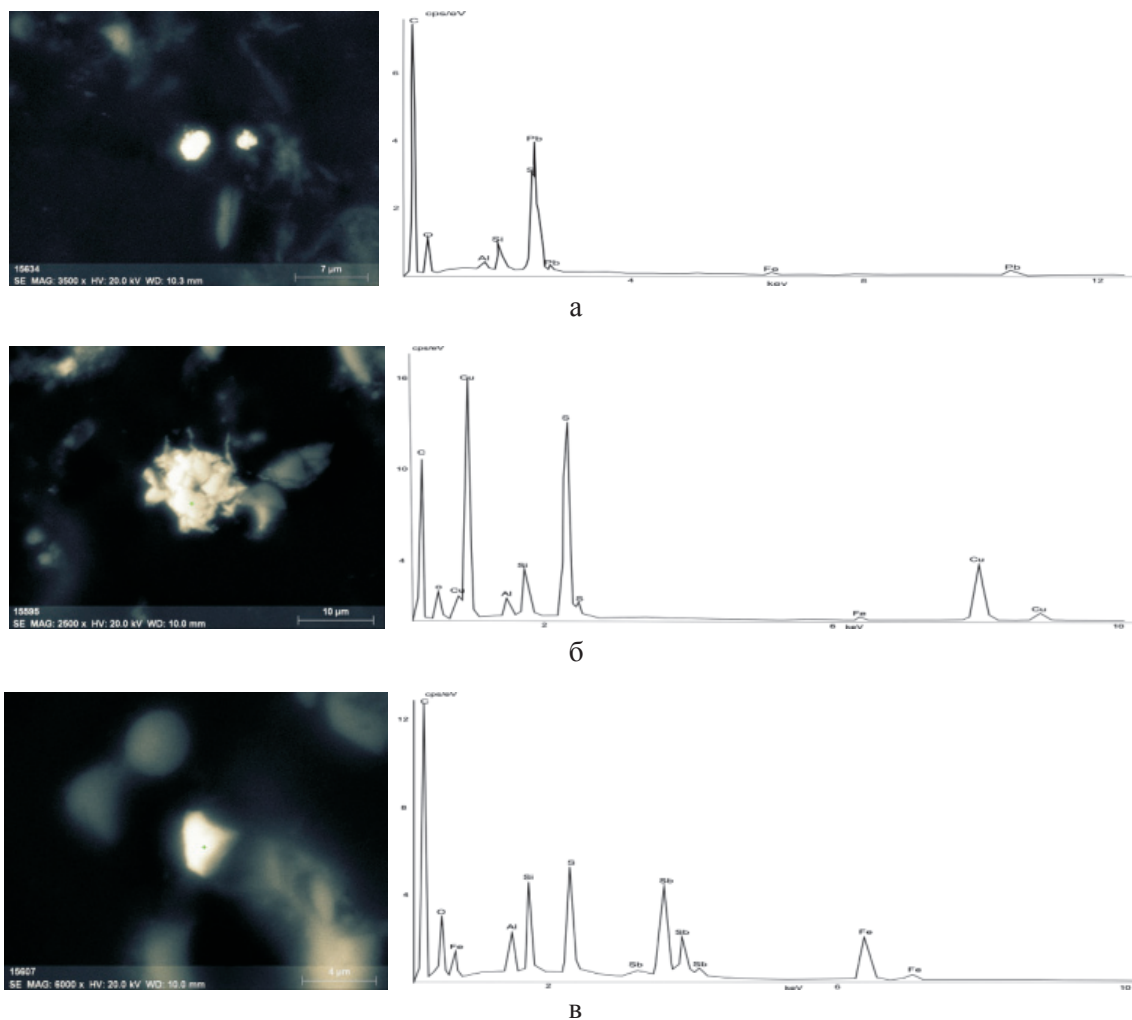
городских величин по содержанию Ca, минеральной формой которого является преимущественно кальцит, а также элементы (Ce, Sm и Th) типоморфные и для пылевых аэрозолей около кирпичных заводов г. Томска. Наличие повышенных концентраций данных элементов в выборке объ-

яняется еще и близким территориальным расположением локальных котельных на угле и частного сектора. В пробах твердого осадка снега техногенные образования (85–88%) доминируют над минеральными частицами (12–15%). Спецификой техногенной составляющей вещественного состава проб является повышенное содержание (10–35%) частиц цементной пыли.

В шлейфе выбросов Томской государственной районной теплоэлектростанции фиксируются редкоземельные элементы, As, Ba, Sr, Sb, U и Fe. По данным [1], зола по сравнению с углем в большей степени обогащена редкоземельными элементами, что также подтверждается результатами исследования состава золы-уноса [11]. Тяжелые металлы, содержащиеся в топливе, обладают высоким потенциалом мобилизации в газовую фазу при сжигании топлива либо конденсируются в виде пленки на поверхности твердых частиц уноса [2, 4, 7].

По данным рентгеноструктурного анализа, в изучаемых пробах фиксируется вы-

сокое содержание кварца (60%), альбита (14%), муллита (12%), в следовых количествах – диопсид (8%) и хлорит (6%). Муллит преимущественно содержится в алюмосиликатных микросферах, являющихся типичными техногенными образованиями для предприятий теплоэнергетики [5, 9, 11]. Помимо кристаллических фаз пробы содержат до 35% аморфного вещества, которое представлено частицами сажи и шлака. Халькофильные элементы находятся в твердых частицах аэрозолей в форме сульфидов. Например, по результатам электронно-микроскопических исследований идентифицированы такие минералы, как галенит и ковеллин (рис. 2). Минеральной формой нахождения сурьмы является антимонит, бария – барит, тогда как железа – пирит, халькопирит, магнетит, гематит, микровключения металлического железа. Типичными техногенными образованиями в пробах являются металлические микросферуллы, состоящие из оксидов железа [8, 10].



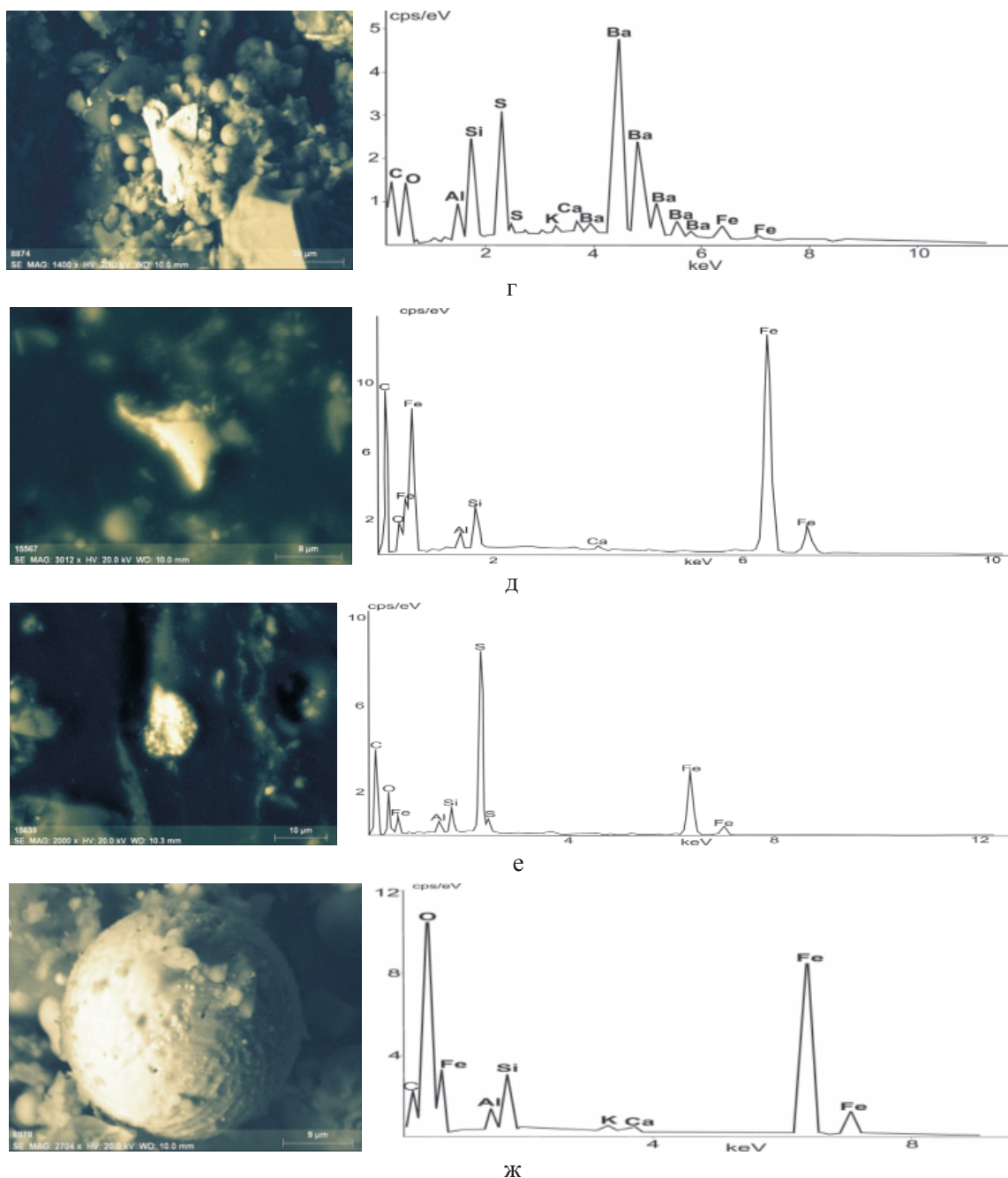


Рис. 2. Результаты электронно-микроскопического исследования проб твердого осадка снега из зоны воздействия городской районной теплоэлектростанции:
 а – галенит; б – ковеллин; в – антимонит; г – барит; д – пирит;
 е – металлическое железо; ж – микросферула с окислами железа; для каждой частицы показан ее энергодисперсионный спектр с пиками, соответствующими C, Si, Al, O, так как они являются элементами матрицы проб

Заключение

Таким образом, по результатам детальных многолетних исследований химического и вещественного состава твердых частиц аэрозолей было выявлено, что специфичными элементами, минеральными фазами и техногенными образованиями

для пылевых аэрозолей, осевших на снеговой покров, в зоне влияния предприятий теплоэнергетики являются Na, Ba, Sb, La, Sm, Yb, Lu, U, Ta, As, Fe, Sr, кварц, альбит, диопсид, хлорит, муллит, частицы сажи, угля и шлака, галенит, ковеллин, антимонит, барит, пирит, халькопирит, магнетит, гематит, ферросферулы; для кирпичных

заводов – Na, Sc, Hf и Rb, кварц, альбит, мусковит, кирпичная крошка, спекшиеся частицы кирпичной крошки; железобетонных заводов – Ca, Sr, As, U, кальцит и частицы цементной пыли.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука» по теме 3.2702.2011.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента для поддержки молодых российских ученых (МК 951.2013.5).

Список литературы

1. Арбузов С.И., Ершов В.В. Геохимия редких элементов в углях Сибири. – Томск: Изд. Дом «Д-Принт», 2007. – 468 с.
2. Методы анализа данных загрязнения снегового покрова в зонах влияния промышленных предприятий (на примере г. Новосибирска) / С.Б. Бортникова, В.Ф. Рапута, А.Ю. Девятова, Ф.Н. Юдахин // Геоэкология. – 2009. – № 6. – С. 515–525.
3. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. –Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 185 с.
4. Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – 295 с.
5. Патент 2229737 Россия, 27.05.2004 / Е.Г. Язиков, А.Ю. Шатилов, А.В. Таловская. Способ определения загрязненности снегового покрова техногенными компонентами // Патент России № 2002127851.
6. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186 № 2932-83. – М.: Госкомгидромет, 1991. – 693 с.
7. Твердые фазы аэрозолей в природно-технических системах городов Прибайкалья / В.А. Скворцов, Н.В. Федорова, В.П. Рогова, Д.А. Чурсин // Геоэкология. – 2011. – № 1. – С. 31–39.
8. Филимоненко Е.А., Таловская А.В., Язиков Е.Г. Особенности вещественного состава пылевых атмосферных выпадений в зоне воздействия предприятия топливно-энергетического комплекса (на примере Томской ГРЭС-2) // Оптика атмосферы и океана. – 2012 – Т. 25
9. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии окружающей среды Томской области в 2011 году / под ред. А.М. Адам / Департамент природн. ресурсов и охраны окружающей среды Том. обл., ОГБУ «Облкомприрода». – Томск: Издательство «Графика ДТР», 2012. – 166 с.
10. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв: монография. – Томск: Изд-во ИПУ, 2010. – 264 с.
11. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: дис. ... д-ра геолого-минерал. наук. – Томск, 2006. – 423 с.

References

1. Arbuzov S.I., Yershov V.V. *Geokhimiya redkikh elementov v uglyakh Sibiri* [Geochemistry of trace elements in coals of Siberia]. Tomsk, D-Print, 2007. 468 p.
2. Bortnikova S.B., Raputa V.F., Devyatova A.YU., Yudakhin F.N. Metody analiza dannykh zagryazneniya snegovogo pokrova v zonakh vliyaniya promyshlennykh predpriyatiy (na primere g. Novosibirsk). *Geoekologiya*. 2009, no 6. pp. 515–525.
3. Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman S.D. *Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova* [Pollution monitoring of the snow cover]. Gidrometeoizdat, 1985. 185 p.
4. Kizil'shteyn L.Y. *Ekogeokhimiya elementov-primesei v uglyakh* [Ekogeokhimiya elementov-primesei v uglyakh]. Rostov-na-Donu, SKNTS VSH, 2002. 295 p.
5. Patent 2229737 Russia, published 27.05.2004. MPK7 G 01 V 9/00. A method for determining contamination of man-made snow cover components. E.G. Yazikov, A.J. Shatila, A.V. Talovskaya applicant and patentee. Tomsk Polytechnic University. Number 2002127851; declared 17.10.2002.
6. Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery [Guidelines for the control of air pollution]. RD 52.04.186 № 2932-83. Moscow, Goskomgidromet, 1991. 693 p.
7. Skvortsov V.A., Fedorova N.V., Rogova V.P., Chursin D.A. *Tverdye fazy aerorozey v prirodno-tekhnicheskikh sistemakh gorodov Pribaykalya*. *Geoekologiya*, 2011, no 1, pp. 31–39.
8. Filimonenko Y.A., Talovskaya A.V., Yazikov Ye.G. *Osobennosti veshchestvennogo sostava pylevykh atmosferynykh vypadeniy v zone vozdeystviya predpriyatiya toplivno-energeticheskogo kompleksa (na primere Tomskoy GRES-2)*. *Optika atmosfery i okeana*, 2012 Vol. 25, no, 10, pp. 896–901.
9. *Ekologicheskiy monitoring: Doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy Tomskoy oblasti v 2011 godu* / Pod redaktsiyey A.M. Adam. Departament prirodn. resursov i okhrany okruzhayushch. sredy Tom. obl., OGBU «Oblkompriroda». Tomsk: Izdatel'stvo «GrafiKa DTP», 2012. 166 p.
10. Yazikov Y.G., Talovskaya A.V., Zhorniyak L.V. *Otsenka ekologo-geokhimicheskogo sostoyaniya territorii g. Tomsk po dannym izucheniya pyleaerorozey i pochv: monografiya* [Evaluation of ecological and geochemical conditions in Tomsk according to the study of soil and dust aerosols: Monograph]. Tomsk, IPU, 2010. 264 p.
11. Yazikov Y.G. *Ekogeokhimiya urbanizirovannykh territoriy yuga Zapadnoy Sibiri*: Dissertation of the doctor of geological-mineral. science. Tomsk, 2006. 423 p.

Рецензент:

Арбузов С.И., д.г.-м.н., профессор, кафедра геоэкологии и геохимии, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск;

Поцелуев А.А., д.г.-м.н., профессор, зав. кафедрой общей геологии и землеустройства, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Работа поступила в редакцию 01.07.2013.