

Янин Е.П. Оценка влияния предприятий по производству электротехнических материалов на окружающую среду // Экологическая экспертиза, 2008, № 6, с. 8–17.

В группу предприятий по выпуску электротехнических материалов входят заводы электротехнической керамики, электротехнического фарфора и других электроизоляционных материалов, технического стекла, электроустановочных устройств, электроугольных изделий, магнитных материалов и т. д. Специфика воздействия указанных предприятий на окружающую среду изучена слабо, что, в частности, затрудняет проведение экологической экспертизы и экологического аудита данного производства, организацию рациональных систем экологического контроля (государственного, производственного, общественного), расчеты допустимых нагрузок на среду обитания и т. д. Отличительной особенностью указанных производств является использование в технологических процессах минералов и горных пород (слюд, каолина, талька, асбеста, кварца, полевого шпата, глины), пластмасс и армированных пластиков, некоторых химических элементов и органических соединений [1, 9, 21, 23, 29, 31, 32].

Слюды (флогопит, мусковит, биотит, лепидолит, циннвальдит, вермикулит, глауконит и др.) представляют собой группу (семейство) минералов подкласса слоистых силикатов, способных расщепляться на очень тонкие листочки с ровной и гладкой поверхностью [6, 24]. Непосредственное значение в электротехнической промышленности имеют крупные пластинки мусковита и флогопита; используются также искусственные слюды. Так, пластины мусковита и флогопита являются в электротехнике незаменимым изоляционным материалом (слюдобумага и т. п.). В качестве электроизоляционных материалов применяются также миканиты, склеенные из мелких листочков щипаной слюды, микафолии – из подобных листочков, наклеенных на бумагу, и микаленты – слои щипаной слюды, оклеенные с обеих сторон специальной бумагой. Слюда используют в качестве наполнителя при производстве электроизоляционных кремний-органических лаков, широко применяемых в кабельной промышленности. Молотый мусковит используется в покрытиях электродов для дуговой сварки, для изготовления влагозащитных электроизоляционных покровных и заливочных компаундов. Считается, что токсическое действие слюд во многом схоже с воздействием других силикатов [2]. В литературе описаны слюдяной пневмокониоз у рабочих, подвергавшихся действию пыли слюды без примеси или с незначительной примесью кварца [18], а также хронический бронхит и профессиональные дерматозы, обусловленные загрязнением рабочей среды слюдяной пылью [2]. В России для флогопита и мусковита ПДК в воздухе рабочей зоны установлена на уровне 4 мг/м^3 , для слюды-сырца при содержании 10-70% своб. SiO_2 – на уровне 2 мг/м^3 (класс опасности 4) [2]. Очевидно, что повышенные уровни пыли слюды могут наблюдаться не только в воздухе рабочих помещений, но и в атмосферном воздухе ближайших к предприятиям зонах воздействия, но, судя по всему, серьезной угрозы для людей и окружающей среды данное загрязнение не представляет.

Широкое применение в электротехнической промышленности находят различные керамические и керамико-металлические (керметы) материалы и изделия из них [11]. Так, алюмосиликатная керамика используется при изготовлении корпуса галогенных ламп; из керметов, содержащих вольфрам и титан, изготавливают цилиндры и диски в магнитотронах, клистронах и электронных лампах бегущей волны; керамика на основе SiO_2 и других оксидов, используется в производстве изоляторов; карбидную керамику и керамику на основе MgO применяют в электротехнике.

тронагревателях, электрических печах; силицидную керамику – в электронагревателях, работающих в окислительных средах. Электроизоляторы из керамики представляют собой спечённые тонкозернистые изделия, изготавливаемые обычно из фарфоровых, цирконовых или тальковых масс. Повышенные и резко дифференцированные требования, предъявляемые к керамике электротехникой, обусловили развитие производства технической керамики на основе чистых оксидов, карбидов и других соединений [13]. В производстве электротехнической керамики (изоляторов и пр.) используют также обогащенную разновидность каолина – тонкодисперсной глинистой породы, состоящей в основном из каолинита (минерала подкласса слоистых силикатов). Установлено, что длительное вдыхание каолиновой пыли в профессиональных условиях способно вызвать у работников соответствующих предприятий пневмокониоз нерезкой степени с разрастанием фиброзной соединительной ткани вокруг альвеол, бронхов, в лимфатических узлах, с утолщением плевры и деформацией легочных сосудов [2]. Однако подобные патологии наблюдаются лишь у рабочих с большим (17-20 и более лет) стажем работы и, судя по всему, только в производстве огнеупоров, где потребление каолинов особенно велико.

Обжиг керамики является самым важным технологическим процессом, обеспечивающим заданную степень спекания. Изделия из электрофарфора перед обжигом покрываются глазурью, которая при высоких температурах (1000-1400⁰С) плавится, образуя стекловидный водо- и газонепроницаемый слой. Следует отметить, что при изготовлении некоторых видов технической керамики в тонкомолотую смесь исходного сырья добавляют термопластические и поверхностно-активные вещества (парафин, воск, олеиновую кислоту и др.). Например, сегнетоэлектрические материалы изготавливают с использованием пластифицирующих добавок типа клеев и термопластификаторов (парафина, озокерита и др.). Эти добавки затем удаляются низкотемпературным обжигом изделий, что определяет эмиссию поллютантов во внешнюю среду. Во многих керамических материалах в относительно повышенных количествах присутствуют Zr, Ba, Li, Ca, Sr, Ti, Ni, Co, Mn, Zn, W, Nb, Mo, что не исключает вероятности обогащения ими образующейся в ходе технологических процессов пыли. Например, в пыли цехов по производству электронагревателей с использованием указанных материалов присутствовали Sb (уровни которой в 100 раз превышали фоновую концентрацию в почвах) и Sn, Ni, Cu, Zn, Mo, концентрации которых были в несколько раз выше фона в почвах [16]. Сточные воды заводов по производству электротехнического фарфора отличаются повышенными содержаниями щелочей, взвешенных веществ, сульфатов, хлоридов, аммонийного азота (табл. 1).

Таблица 1. Состав сточных вод заводов по производству электротехнического фарфора и изоляционных материалов, мг/л [25]

Компонент	До очистки	После очистки
Взвешенные вещества	100-200	6-11
Эфирорастворимые	250-300	1,7-2,1
pH	7-7,4	7-7,4
Щелочность общая, мг-экв/л	7-7,8	6,5-7
Сульфаты	446	400
Хлориды	70-130	70-130
NH ₄ ⁺	20	20
БПК ₅	7	-

Для изготовления нагревательных элементов (силитов), термостойких пар и электродов применяют карбид кремния, пыль которого в условиях производства при длительном вдыхании

способна вызывать у рабочих хронический бронхит, относительно доброкачественный пневмокониоз, а также их сочетание, наиболее неблагоприятное в отношении функциональной патологии системы дыхания [2]. В основном указанные патологии наблюдались у рабочих-шлифовщиков, а также у работников, занятых в производстве карборунда (материала для силовых нагревателей) и других искусственных абразивов.

Как уже отмечалось, в производстве электрокерамики (изоляторов) используется молотый тальк (часто в смеси со слюдяными частицами) – минерал подкласса слоистых силикатов [2, 11, 34]. Керамический материал, являющийся продуктом спекания талька с каолином и углекислым барием, в технике называют стеатитом, который в 1,5-3 раза прочнее фарфора, обладает большей термостойкостью и более высокими электрическими свойствами. Сопротивление технического стеатита увеличивается при добавке циркона. В России предельно допустимая концентрация для талька и талькопородной пыли (разновидностей природной смеси талька с тремолитом, актинолитом, антофиллитом, серпентинитом, хлоритом, магнезитом и др.), содержащей до 10% свободной SiO_2 , в воздухе рабочей зоны установлена на уровне 4 мг/м^3 (класс опасности 4) [12]. Тальк, содержащий асбестовые волокна, отнесен к канцерогенным веществам [12]. Следует отметить, что присутствие волокон асбеста в коммерческом тальке достаточно частое явление. Так, анализ различных проб талька, ввозимого в свое время в Чехословакию, показал, что в большинстве случаев в нем содержались актинолит-асбест и тремолит-асбест [30], обладающие не только фиброгенным действием, но и повышенной канцерогенностью. Асбестовое волокно и асбестсодержащие материалы в той или иной степени по-прежнему используются в производстве электро- и термоизоляторов, изоляционных лент и т. п. [33]. Асбест добавляют в состав волокнитов и аминопластов, из которых изготавливаются корпуса выключателей и штепсельных розеток, а также используют в качестве наполнителя при производстве электроизоляционных кремнийорганических лаков. Если в прошлые годы эмиссия во внешнюю среду пыли талька и асбеста, используемых в электротехнической промышленности, была относительно значимой, то в настоящее время вероятное негативное воздействие этих поллютантов, судя по всему, ограничено в основном производственной зоной. Следует отметить, что в свое время в СССР и сейчас в России в наибольших масштабах использовался хризотил-асбест, нежели более гигиенически опасные асбесты амфиболовой группы [35].

В производстве изоляторов широко применяются армированные пластики, представляющие собой композиционные материалы на основе полимерного связующего и упрочняющего наполнителя [29]. В качестве связующего материала используют синтетические смолы (фенолформальдегидные, полистирольные и др.), кремнийорганические полимеры, полиамиды, полиимиды, изоляционные лаки, фторопласты и др. В качестве электроизоляционного материала применяют также битумы твердого топлива. При использовании и обработке указанных материалов воздушная среда рабочих помещений интенсивно загрязняется летучими органическими веществами и пылью пластиков, что сопровождается негативными воздействиями на рабочих [22]. Не исключена вероятность поступления указанных веществ и во внешнюю (окружающую) среду. В производстве корпусов выключателей, штепсельных розеток, патронов и т. п. используют пластмассы на основе аминоальдегидных смол (аминопласты), в состав которых входят целлюлоза, тальк, асбест, древесная мука, стеклянное волокно, модифицирующие добавки (органические) и смазочные вещества (стеарин, стеараты Zn, Mo, Al), пигменты, обогащенные Ba, Ni, Co, Pb. Для изготовления высоковольтных деталей, штепсельных разъемов, корпусов катушек реле, держателей угольных щеток применяется полибутилентерефталат, способный выде-

лять в воздух фталаты и другие органические соединения. Все выше названные вещества способны поступать в окружающую среду как в ходе производственных процессов, так и при использовании и утилизации электроустановочных и электроизоляционных изделий, электротехнических приборов и т. п. Например, при использовании эпоксидных смол воздух рабочих помещений загрязняется исходными продуктами и другими ингредиентами, входящими в состав смол, которые обладают раздражающими, общетоксическими, сенсибилизирующими свойствами; способны вызывать аллергию. В состав полимерных компаундов, применяемых для заливки и пропитки отдельных элементов и блоков электроаппаратуры с целью электрической изоляции, защиты от внешней среды и механических воздействий, входят полимерные смолы, жидкий кремнийорганический каучук, пластификатор, отвердитель, наполнитель, краситель. Использование битумов может сопровождаться эмиссией бенз-а-пирена (вещество с доказанной для человека канцерогенностью), а различных смол и пластмасс – формальдегида (вещество вероятно канцерогенное для человека). В кремнийорганических лаках, применяемые для получения электроизоляционных покрытий (эмали, шпатлевки, грунтовки и пр.), присутствуют пигменты (Al, Fe, Cd, Co, Cr) и наполнители (асбест, слюда, тальк, барит), а в некоторых эмалях, грунтовках и шпатлевках пигментами служат TiO_2 , цинковые белила. Многие из названных веществ обладают выраженной токсичностью для человека. Среди поллютантов, способных выделяться из используемых в производстве электротехнических материалов полимеров, особое место принадлежит сложным эфирам фталевой кислоты (фталатам) и эфирам фосфорной кислоты, обладающих токсичными свойствами. Сточные воды заводов по производству изоляционных материалов отличаются повышенными содержаниями щелочей, взвешенных веществ, сульфатов, хлоридов, некоторых металлов, эфирорастворимых соединений, органических растворителей, фенолов и др. (см. табл. 1).

Основным сырьем для производства технического стекла (электротехнического, светотехнического, электроизоляционного, электровакуумного) является кремнезем, который обычно вводится в виде кварцевого песка или небольшого количества горного хрусталя, жильного кварца и др. Для придания стеклам особых свойств и улучшения характеристик в их составы дополнительно вводятся различные красители, осветлители, окислители, восстановители, ускорители варки и т. п. в виде соединений фтора, диоксида церия, оксида мышьяка (до 0,5%), соединений марганца, алюминия, кобальта, бария, хрома, никеля, меди, железа и других элементов. При производстве хрустального стекла в шихту добавляется оксид свинца (PbO) в виде свинцового глета, свинцового сурика или силикаты свинца. Традиционная технология промышленного способа получения неорганического стекла состоит в подготовке сырьевых материалов, приготовлении шихты, варке, формовании изделий, отжиге, обработке. Варку стекла проводят в печах непрерывного действия при высоких температурах (до 1200-1600°C). Выбросы, возникающие в производстве стекла при обращении с исходным сырьем и особенно при эксплуатации стекловаренных печей, являются основными источниками загрязняющих веществ, типичных для данного вида производства. В отсутствие подавления удельные выбросы аэрозолей составляют: листовое стекло – 0,36-1,4 кг/т стекла, тарное – 0,4-0,86, прессованное и выдуваемое – 0,454-11,3 кг/т стекла [7]. При наличии систем очистки указанные показатели снижаются более чем на порядок (табл. 2). Средний геометрический размер частиц колеблется в пределах 0,1-0,13 мкм, что обуславливает высокую мутность шлейфа отходящих газов. Для западноевропейских стран коэффициенты выброса пыли при производстве свинцового хру-

стального стекла установлены в пределах 0,15-0,37 кг/т [36], для предприятий Белоруссии – 3,7-8,6 кг/т стекла [28].

Таблица 2. Выбросы аэрозолей от стекловаренных печей после улавливающих устройств [7]

Тип продукта или стекла	Улавливающее устройство	Выброс, кг/т
Тарное (силикатное)	Электрофильтры	0,05
Тарное	Скруббер Вентури	0,19
Прессованное и выдуваемое:		
боросиликатное	Электрофильтры	0,454
флюоритоопаловое	Электрофильтры	0,15
силикатное	Тканевые фильтры	0,09
свинцовое	Электрофильтры	0,1
Листовое	Электрофильтры	0,13

Выбросы стекольного производства обогащены многими химическими элементами и в особых условиях нередко являются мощными источниками загрязнения окружающей среды некоторыми тяжелыми металлами. Например, эмиссия свинца на Саранском заводе электровакуумного стекла в свое время достигала 50-60 т/год. В выбросах стекольных производств присутствуют также Cu, Zn, Cd, Ni, Hg [8] и Se [5]. В общем случае содержание тяжелых металлов в пылевых выбросах стекловаренных печей зависит от состава шихты, вида топлива, объема использования стеклобоя, технологии варки, типа печи и ряда других факторов [28] (табл. 3, 4).

Таблица 3. Химические элементы в пыли стекольного производства, мг/кг [37]

Производство, проба	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
Стеклозавод «Неман»								
массовая из газохода	-	73,33	-	7218,3	1766	410000	7667	-
из рукавного фильтра	-	1,98	-	11,6	4,16	633213	5928	0,06
Борисовский хрустальный завод								
хрусталя (регенератор)	10900	2,6	9,89	2,65	1,03	705000	1980	-
массовая из газохода	956	212	174	832	374	33100	392	-
Гродненский стеклозавод								
из регенератора	70,3	12,3	5870	83,9	3,38	155	184	-
массовая из газохода	376	4,49	3220	46,5	3,22	140	199	-
Полоцкий завод стекловолокна								
массовая из газохода	71,9	-	57,1	7,66	9,39	30,6	159	-

Таблица 4. Распределение химических элементов в различных фракциях пыли стекольного производства [37]

Завод	Фракция, мкм	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
«Неман» (производство хрусталя)	< 1,0	34200	-	135	2,96	-	726000	27200
	1,0 - 10	16900	1,12	87	4,94	0,85	705000	54100
	10 - 30	17600	0,925	83,5	5,56	0,58	722000	44100
	30 - 50	15000	1,65	67,3	3,72	0,95	628000	50100
	> 50	14200	1,4	65,5	3,71	0,86	543000	36800
Борисовский (то же)	< 0,3	19300	6,14	16,9	9,84	7,06	706000	27200
	0,3 - 2,5	19100	5,22	17,8	9,95	1,24	710000	29900
	2,5 - 10	14300	3,87	16,4	5,2	0,74	767000	27200
	10 - 50	10400	1,78	9,11	2,85	0,88	745000	24700
	> 50	10200	22,05	7,14	1,44	1,01	801000	23200

При использовании в стекольном производстве соединений свинца доля последнего в общем химическом составе пыли может достигать 64,9-95,2%; очень велики также содержания цинка (до 0,38%) и железа (до 0,15%) [37]. Исследование, выполненные на 16 стекольных заво-

дах Японии, показало, что состав выбрасываемых частиц главным образом зависит от рецептуры стекла, типа добавок и способа производства [38]. В повышенных содержаниях в пыли присутствовали As, Se, Cd, Sb, Pb и другие элементы. Выбросы заводов по производству стекла для инфракрасных ламп были обогащены Se и Cd. Замена печей, работающих на тяжелом нефтяном топливе, на электрические печи (например, на заводе по производству изделий из опалового стекла) позволило заметно снизить выброс загрязнителей в атмосферу. В процессах плавки при производстве стекла во внешнюю среду поступают также SO₂, NO_x и твердые частицы [39]. Соединения серы выделяются в атмосферу при использовании в качестве топлива нефти (мазута); оксиды азота образуются за счет окисления при высоких температурах содержащегося в воздухе N₂, а твердые частицы и аэрозоль – при взаимодействии NaOH (исходного компонента шихты) с SO₂. Если печь работает на природном газе, то твердые частицы образуются за счет взаимодействия с CO₂ или Cl₂ (который присутствует в следовых количествах). Есть сведения [26], что при производстве стекла образуются также отходы, содержащие частицы гипса, асбеста, цемента, глины. Использование в стекольном производстве нефелина предотвращает продуцирование нефелиновой пыли, способной вызывать у рабочих нефелиноз. В сточных водах стекольного производства в повышенных количествах присутствуют взвешенные вещества, сульфаты, хлориды, фосфаты, Ca, Mg, некоторые тяжелые металлы, органические смолы [25].

Специфическое загрязнение среды обитания наблюдается в окрестностях заводов по производству электродного графита, электродов, катодов и т. п. Так, в 80 км к югу от г. Новосибирска, в пос. Линево, расположен Новосибирский электродный завод, выпускающий графитированные и угольные электроды, электродный графит, катоды, графитовые изделия и др. Считается, что завод, функционирующий с 1974 г., вносит основной вклад в загрязнение окружающей среды Новосибирской области полициклическими ароматическими углеводородами, прежде всего, бенз(а)пиреном [19]. Выброс смолистых веществ формируется в основном от источников в цехе обжига и производится через две трубы высотой 180 м. По данным [14], загрязнение снежного покрова канцерогенным бенз(а)пиреном прослеживается на расстоянии до 20 км от завода, причем содержания этого загрязнителя в снеговой воде достигали 100 мкг/л вблизи предприятия, 10 – на удалении в 5 км и лишь на удалении в 20 км были менее 0,1 мкг/л. Наиболее высокие концентрации бенз(а)пирена в почвах фиксируются в ближней зоне (до 2 км от завода), относительно плавно снижаясь при удалении. Уровни бенз(а)пирена в пробах почв, отобранных на крутых склонах долин, оказались сравнительно невысокими, что связано с его более активной миграцией в составе поверхностного стока. Концентрации загрязнителя в почвах ближней к заводу зоны достигали 10000-20000 мкг/кг и более, снижаясь до 20 мкг/кг при удалении в 8 км от него. Расчеты, выполненные авторами цитируемой работы, свидетельствуют о том, что в почвах в радиусе 2 км от завода запасы бенз(а)пирена составляют 6,7 т. Ежегодная эмиссия этого соединения заводом в середине 1990-х гг. оценивалась в 400 кг [20]. Интенсивность загрязнения окружающей среды бенз(а)пиреном в районе Новосибирского электродного завода существенно выше, нежели в районе воздействия других объектов (табл. 5).

Сточные воды от производств электроугольных изделий содержат графит, нефтепродукты, окалину и масла, некоторые металлы [25]. Необходимо отметить, что с графитом, используемым (часто в виде смеси с Al, Mg, Pb) для производства электродов и нагревательных элементов электропечей, электродов и электродов, скользящих контактов и колец для электромашин, в электрических приборах и аппаратах, в гальванических элементах, могут быть связаны негативные воздействия на рабочих соответствующих производств [2, 22]. В частно-

сти, при длительном контакте с техническим графитом возможно развитие хронического бронхита, эмфиземы легких, графитового пневмокониоза. Известно также неблагоприятное влияние графитовой пыли на состояние ЛОР-органов (атрофические фарингиты, риниты).

Таблица 5. Бенз(а)пирен в компонентах окружающей среды в зонах влияния различных объектов

Объект	Снеговая вода, мкг/л	Почва, мкг/кг
Новосибирский электродный завод [14]: вблизи завода 5 км от завода 20 км от завода	100 10 < 0,1	10000-20000 20 (удаление 8 км) -
Город Таллин [4] городская антропогенно-трансформированная почва фоновая почва	- -	23,4 0,27-7,76
Город Жуковский [3] в пределах города окрестности города	- -	5-387 6-50
Город Уфа, снеговые свалки [17]: Советский район Октябрьский район «фоновый» участок	0,020-0,120 0,015-0,061 0,002-0,004	19 27 1
Пермская область, различные источники [27]	2,4-3,6	-
Город Тольятти, фоновые почвы [4]	-	0,5-1,9
Чернозем, заповедная степь [4]	-	0,8-17,6
Верхний слой фоновых почв России [15]	-	< 10

Таким образом, заводы по производству электротехнических материалов потенциально способны поставлять в производственную и окружающую среду достаточно широкий спектр органических и неорганических поллютантов. В районе деятельности таких заводов в окружающей среде могут наблюдаться повышенные концентрации некоторых химических элементов (особенно тяжелых металлов), органических соединений, в том числе канцерогенных (бенз(а)пирен, формальдегид). В воздух рабочих помещений поступает минеральная пыль (тальковая, асбестовая, силикатная и др.), что для некоторых производств может создавать определенные гигиенические проблемы. Особую опасность представляет пыль, образующаяся при использовании керамических материалов и обогащенная токсичными элементами. Все эти факты необходимо учитывать при разработке планов развития предприятий, обосновании природоохранных мероприятий, создании систем экологического. Безусловно, в зонах влияния различных по своей специфике предприятий по производству светотехнических материалов необходимо проведение эколого-геохимических и гигиенических исследований, направленных на изучение поведения в производственной и окружающей среде максимально возможного круга поллютантов. Особое внимание следует уделить изучению состава промышленной пыли, сточных вод и отходов, образующихся в ходе производства электротехнических материалов.

Литература

1. Бессонов В.В., Янин Е.П. Эколого-гигиенические аспекты использования силикатов в электротехнических материалах и изделиях // Экологическая экспертиза, 2004, № 4, с. 25-30.
- 2.
- 3.
- 4.

- 5.
- 6.
- 7.
8. *Какарека С.В., Хомич В.С., Кухарчик Т.И. и др.* Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: опыт оценки удельных показателей. – Минск: ИГН НАН Беларуси, 1998. – 156 с.
- 9.
- 10.
- 11.
- 12.
- 13.
- 14.
- 15.
16. *Саэт Ю.Е., Башиаркевич И.Л., Ревич Б.А.* Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 66 с.
- 17.
- 18.
- 19.
- 20.
- 21.
- 22.
- 23.
- 24.
- 25.
- 26.
- 27.
- 28.
- 29.
- 30.
- 31.
32. *Янин Е.П.* Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). – М.: Диалог-МГУ, 1998. – 281 с.
33. *Янин Е.П.* Асбест в окружающей среде. (Введение в экологическое асбестоведение). – М.: ИМГРЭ, 1997. – 176 с.
34. *Янин Е.П.* Тальк в окружающей среде (эколого-гигиенические аспекты практического использования) // Экологическая экспертиза, 2004, № 4, с. 20-25.
35. *Янин Е.П.* Асбест и асбестосодержащие материалы: тотальный запрет или регулируемое использование? // Экологическая экспертиза, 2006, № 5, с. 26-43.
- 36.
37. *Kakareka S., Khomich V., Kukharchyk T., Kravchouk L.* Particulate matter emission study. Regarding to size distribution and heavy metals content aspects. – Minsk: Institute for Problems of Natural Resources Use and Ecology of the National Academy of Sciences of Belarus, 1999. – 149 p.
- 38.
- 39.