

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ  
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Е.П. ЯНИН

ПРОМЫШЛЕННАЯ  
ПЫЛЬ  
В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ  
(геохимические особенности  
и экологическая оценка)



МОСКВА - 2003

УДК 550.4:540.3

Янин Е.П. Промышленная пыль в городской среде (геохимические особенности и экологическая оценка). - М.: ИМГРЭ, 2003. - 82 с.

В работе рассмотрены геохимические особенности промышленной пыли, образующейся в ходе технологических процессов на различных предприятиях. Систематизированы сведения о свойствах и основных источниках поступления промышленной пыли в среду обитания, о распространении пыли и связанных с ней поллютантов в окружающей среде. Приведен анализ распределения в различных разновидностях пыли широкой группы химических элементов и их форм нахождения. Показана роль промышленной пыли в формировании зон техногенного загрязнения в городах. Выполнена оценка эколого-гигиенической значимости поступающей в среду обитания промышленной пыли.

Табл. - 42; рис. - 9; список лит. - 114 назв.

Ответственный редактор

Э.К. Буренков

Рецензент

А.А. Волох

© Янин Е.П., 2003  
© ИМГРЭ, 2003

## Введение

Пылевые выбросы промышленных предприятий - один из основных способов поставки в окружающую среду химических элементов и их соединений. Формирование техногенных геохимических аномалий в атмосферном воздухе, в снеговом покрове и почвах в значительной мере обусловлено именно поступлением в среду обитания промышленной пыли. Изучение химического состава пыли, образующейся на предприятиях в ходе технологических процессов, позволяет идентифицировать источники техногенного загрязнения, установить комплекс загрязнителей, более точно оценить техногенную нагрузку на окружающую среду и возможный для здоровья людей экологический риск. Знание микроэлементного состава промышленной пыли необходимо для обоснования коэффициентов эмиссии загрязняющих веществ, для расчета предельно допустимых выбросов, при проведении ОВОС, экологического аудита, экологической экспертизы, организации экологического контроля на предприятиях, а также для совершенствования систем очистки промышленных выбросов в атмосферу и обоснования основных направлений вторичного использования уловленной очистными установками пыли.

В то же время, анализ литературы, доступной для широкого круга отечественных специалистов, показывает, что, несмотря на значительный прогресс в изучении процессов и явлений техногенеза, химический состав и эколого-геохимические особенности промышленной пыли до сих пор изучены слабо. Во многом это связано с тем, что существующие в России системы санитарно-гигиенического и экологического контроля в очень редких случаях предусматривают наблюдения за поступлением в атмосферу химических элементов, присутствующих в организованных и неорганизованных пылевых выбросах промышленных предприятий. Есть также определенные сложности при организации массового и одновременного опробования пыли на различных предприятиях, а также химико-аналитические трудности, обусловленные спецификой состава подобного материала. В определенной мере данные о вещественном составе и эколого-геохимических особенностях промышленной пыли содержатся в публикациях сотрудников ИМГРЭ, где в конце 1970-х гг. были начаты целенаправленные исследования влияния на окружающую среду разнообразных источников загрязнения [35, 36, 53, 73, 75, 79, 81-85, 113, 114], в интересных и оригинальных по методике и полученным результатам работах белорусских исследователей [22, 29, 97, 98], а также в статьях и книгах других авторов [1, 11, 30, 34, 42, 52, 63]. Тем не менее, по-прежнему, имеется очень мало систематизированных сведений о концентрации тяжелых металлов, редких и рассеянных элементов в различных разновидностях промышленной пыли (технологической, вентиляци-

онной, из производственных и служебных помещений), образующейся на предприятиях и производствах, расположенных в пределах конкретного города, о ее макросоставе и формах нахождения в ней тяжелых металлов. В предлагаемой книге предпринята попытка восполнить, хотя бы отчасти, этот пробел. В основу работы положены результаты исследований химического состава и эколого-геохимических особенностей промышленной пыли более 30 различных по своим технологическим характеристикам предприятий г. Саранска.

Автор признателен Главному санитарному врачу г. Саранска С.А.Кижаккину, зав. отделами Саранского центра Госсанэпиднадзора Т.А. Бурлаковой и Ю.В. Белякову за организационную помощь при обследовании промышленных предприятий города, а также Э.К. Буренкову и А.А.Волоху за обсуждение полученных результатов, ценные советы и конструктивные замечания.

## Пыль в среде обитания

Твердые частицы поступают в атмосферу от различных природных и техногенных источников, а также образуются непосредственно в ней. Они находятся в нестабильном состоянии, но способны мигрировать на значительные расстояния и течением времени отделяются от воздуха, осаждаясь на подстилающие поверхности. Взвешенные в атмосферном воздухе частицы могут оказывать отрицательное воздействие на живые организмы, видимость, климат. Основными факторами, определяющими степень таких воздействий, являются интенсивность поступления твердых частиц в атмосферу, их размеры, морфология, концентрация, химический состав, а также формы нахождения связанных с ними поллютантов.

### *Основные разновидности и свойства пыли*

Пыль (*dust*) - общий термин, которым, согласно дефиниции Международной организации стандартизации (МОО), обозначают твердые частицы разного размера и происхождения, способные некоторое время оставаться в газе (воздухе) в виде суспензии [61]. Стандарты различных стран могут дополняться конкретными размерами частиц. Не следует отождествлять пыль с аэрозолем. Аэрозоль (*aerosol*) - это, по определению МОО, суспензия в газовой среде твердых или жидких или твердых и жидких частиц, имеющих крайне низкую скорость осаждения [61]. Твердые частицы дают «аэрозоль твердых частиц» (не рекомендуется использовать термин «твердый аэрозоль»), жидкие частицы - «аэрозоль жидких частиц» (не рекомендуется использовать термин «жидкий аэрозоль»). Если взвешенные в воздухе частицы образуются в результате измельчения твердых или жидких материалов или распыления порошков под действием тока воздуха или вибрации, то они называются диспергационными аэрозолями. Аэрозоли, формирующиеся при конденсации перенасыщенных паров или в результате химического взаимодействия газов с образованием нелетучего продукта, носят название конденсационных аэрозолей [20]. Слово «пыль» в русском языке не имеет множественного числа [62], тем не менее в научно-технической литературе часто пишут о самых разнообразных «пылях».

В отечественной научно-технической литературе для обозначения взвешенных в атмосфере твердых частиц используют термины «золовая взвесь», «атмосферная взвесь», «твердые или аэрозольные примеси», в англоязычной - *atmospheric dust* (атмосферная пыль), *eolian dust* (золовая пыль), *airborn dust* (воздушная пыль, или воздушная взвесь). В США

применяется термин «взвешенное (в атмосфере) вещество» (*suspended particulate matter*) или «взвешенные (в атмосфере) частицы» (*suspended particulates*), которые «представляют собой разнородную группу веществ, жидких или твердых, рассеянных в атмосфере и имеющих диаметр от доли микрометра до нескольких сотен микрометров», не оседающих на поверхность земли под действием силы тяжести; кроме того, взвешенные частицы определяются как «вещество, которое может быть удалено из воздуха при его пропускании через соответствующий фильтр» [9, 61].

В Географическом энциклопедическом словаре [10] атмосферной пылью называют совокупность взвешенных в воздухе мелких ( $10^{-2}$ - $10^{-4}$  см) твердых частиц, способных в отличие от дыма оседать при безветрии. В словаре [38] отмечается, что все твердые частицы, присутствующие в атмосфере, представляют собой взвешенную пыль, которая в зависимости от размера частиц подразделяется на грубую и тонкодисперсную пыль. Использование во многих работах словосочетания «взвешенная (в воздухе) пыль» не случайно. Как известно, большинство пылеватых частиц обладает способностью не только слипаться между собой, но и прилипать к другим твердым телам. Именно поэтому в обиходе пылью обычно называют «мельчайшие сухие частицы, носящиеся в воздухе или скапливающиеся на поверхности чего-нибудь» [37]. Во многих публикациях встречаются такие термины, как «городская (уличная) пыль» (*urban dust*), «домашняя пыль», «сдуваемая пыль» (*fugitive dust*).

В научной литературе все присутствующие в атмосфере твердые частицы часто разделяются на собственно пыль, к которой относятся частицы с диаметром более 1 мкм (в старых метеорологических работах их называли пылинками) [15, 65], и на аэрозоли твердых частиц (< 1 мкм) [5]. Частицы, имеющие диаметр меньше 0,001 мкм, называют ядрами Айткена. Необходимо отметить, что атмосферный аэрозоль представляет собой не только инородное включение, но и является продуктом процессов, протекающих в атмосфере с различными пространственно-временными масштабами. Формирующиеся в ходе таких процессов твердые примеси часто называют вторичными частицами, тогда как твердое вещество, возникающее при диспергировании материала на поверхности земли и поступающее в атмосферу, образует первичные частицы [5].

В профессиональной гигиене промышленной пылью (*industrial dusts*) называют « витающие в воздухе рабочей зоны и медленно оседающие твердые частицы размерами от нескольких десятков до долей микрометра » [60]. Используют также термин «производственная пыль» (*process dust*), под которой понимается дисперсная система, состоящая из частиц твердых веществ разнообразной формы, размера и физико-химических свойств, образующихся в результате производственной деятельности; размер ее частиц изменяется от < 1 мкм до 100 мкм [12]. В технологии очистки промышленных выбросов уловленный в ходе сухой

газоочистки мелкодисперсный материал именуется пылью, а осажженный при мокрой газоочистке – шламом [63].

По размеру (дисперсности) частицы промышленной пыли чаще всего подразделяются на три группы:

1) грубые (более 10 мкм), заметные невооруженным глазом и оседающие достаточно быстро на подстилающие поверхности;

2) микроскопические (0,25-10 мкм), видимые в обычные оптические микроскопы и медленно оседающие в неподвижном воздухе с постоянной скоростью;

3) субмикроскопические (менее 0,25 мкм), обнаруживаемые только при помощи электронных микроскопов, постоянно находящиеся в состоянии хаотического движения, подчиняющиеся законам броуновского движения и практически не оседающие в неподвижном воздухе (если, конечно, не учитывать происходящие в нем различные процессы и явления, в которых эти частицы участвуют).

По химическому составу различают следующие виды промышленной пыли [60]:

1) органическая пыль: а) растительная (зерновая, мучная, хлопковая и др.), б) животная (шерстяная, волосная, кожаная, костяная и др.), в) белковая (производство белково-витаминных концентратов);

2) неорганическая пыль: а) минеральная (кремнеземная, силикатная и др.), б) металлическая (железа, цинка, свинца и др.), в) смешанная (минерально-металлическая, г) смесь органической и неорганической пыли (злаков и почвы, хлопковой и песчаной и др.).

По своему биологическому действию на человека пыль может быть разделена на несколько категорий (табл. 1).

Таблица 1. Классификация пыли по биологическому воздействию

Категория	Основное воздействие	Примечание
Фиброгенная	Вызывает усиленный рост соединительной ткани в легких	Все виды пыли, содержащие свободный кристаллический кремнезем или асбест
Токсичная	Помимо локальных воздействий на легкие, обладает общетоксическим действием	Пыль, содержащая тяжелые металлы, металлоиды, имеются сведения о токсичности асбеста
Радиоактивная	Приводит к изменению и разрушению биологических и генетических структур	Пыль, содержащая радионуклиды
Аллергенная	Приводит к возникновению бронхиальной астмы и кожной экземы	Многие виды пыли, в том числе содержащая металлы
Канцерогенная	Вызывает злокачественный рост тканей	Пыль тяжелых металлов и асбеста
Инертная	Какие-либо воздействия не фиксируются	Существует обоснованная точка зрения, что безвредной пыли нет

Следует различать негативное воздействие пыли на человека в производственных условиях, в условиях окружающей природной среды, в быту. Гигиеническая опасность промышленной пыли, взвешенной в атмосферном воздухе, определяется ее количеством, размерами (и формой) частиц, уровнями содержания в них различных токсикантов. В подавляющем большинстве случаев наиболее опасно профессиональное влияние пыли. Давно установлено, что систематическая работа в условиях высокой запыленности приводит к повышенной заболеваемости рабочих [60]. В России около 5 млн. чел. (примерно 17% всех работающих) трудится в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормативам. Ежегодно регистрируется более 10 тыс. профессиональных заболеваний и отравлений, из которых более 90% - хронические [40]. Несомненно, важным фактором, обуславливающим их возникновение, является промышленная пыль.

В производственных условиях пыль может приводить к развитию профессиональных заболеваний (пневмокониозов, пылевых бронхитов, бронхиальной астмы, дерматозов и др.), способствовать повышению других заболеваний органов дыхания (туберкулез, пневмония, пневмосклероз, эмфизема легких и др.), оказывать непосредственное токсическое воздействие на людей [60]. Некоторые виды пыли обладают канцерогенным действием, другие - характеризуются адсорбционными свойствами, в силу чего пылинки способны нести на себе молекулы газов, которые могут быть причиной интоксикации. Пыль также является носителем микробов, спор, яиц гельминтов. Как правило, быстро растворяющаяся пыль относительно неплохо выводится из организма и оказывает сравнительно слабое патологическое действие [60]. Плохо растворимая пыль надолго задерживается в дыхательных путях и оказывает более выраженное действие. Многие виды промышленной пыли являются сильными аллергенами [17].

Минеральная (реже металлическая и органическая) пыль при длительном вдыхании может вызвать развитие у рабочих хронических профессиональных фиброзов легких (пневмокониозов) [7, 60]. В зависимости от вида промышленной пыли различают 6 групп пневмокониозов:

- силикоз (включая силикотуберкулез, или кониотурберкулез, и диэнасовый пневмокониоз);
- силикатозы (асбестоз, каолиноз, нефелиноз, оливиноз, пневмокониоз от пыли стеклянного волокна, слюдяной пневмокониоз, талькоз, цементный пневмокониоз, шамотный пневмокониоз);
- металлокониозы (апатитовый, марганцевый, от пыли твердых сплавов, баритоз, станиоз, алюминоз);
- карбокониозы (антракоз, графитоз, пневмокониоз от пыли кокса, сажевый);



- пневмокониозы от смешанной пыли (электросварочный, сланцевый, пневмокониозы газорезчиков, огнеупорщиков, сталеваров);
- пневмокониозы от органической пыли (пыли винилхлорида, бисиноз и др.).

С гигиенической точки зрения особую опасность представляет воздействие так называемой волокнистой пыли, которая характеризуется игольчатой, цилиндрической, нитевидной или пластинчатой формой и у которой один размер - длина - в несколько раз превышает остальные размеры. Различают несколько разновидностей волокнистой пыли: асбестовая, стеклянная, металлическая, керамическая, растительная (хлопок, лен и др.), животная (перо, шерсть, волос). Наиболее полно изучена синтетическая пыль (стеклянная, керамическая и др.) и асбестовая пыль [7, 25, 70, 77]. Специфическая пыль (споры, дрожжи, белки, пыльца, продукты синтеза антибиотиков и т. д.) образуется на предприятиях микробиологической, белково-витаминной и медицинской (производство лекарств и т. п.) промышленности [57, 60]. Некоторые виды промышленной пыли (угольная, алюминиевая, магниевая, ацетатцеллюлозная, мучная, сахарная, серная и др.) при соответствующих концентрациях и при наличии источников тепла воспламеняются и взрываются. Вероятность воспламенения пыли тем выше, чем выше ее дисперсность. Взрывоопасные (минимальные и максимальные) концентрации пыли изменяются в очень широких пределах. Например, для угольной пыли (в зависимости от наличия метана) взрывоопасная концентрация варьируется от 10 до 600 г/м<sup>3</sup>, для серной и сульфидной - от 5 до 1000 г/м<sup>3</sup> [12].

Для токсикологической характеристики пыли большое значение имеют ее размеры, определяющие вероятность проникновения пылевых частиц в организм человека. С этой точки зрения особую опасность представляет так называемая респираторная (вдыхаемая) пыль (*respirable dust*), т. е. взвешенные в воздухе твердые частицы, которые при вдохе могут в значительной степени проникать вплоть до легочных альвеол и там задерживаются. Как правило, частицы пыли радиусом более 5 мкм при дыхании через нос осаждаются в каналах носоглотки; частицы размером крупнее 2 мкм на 90% задерживаются до поступления в дыхательные пути (рис. 1, 2). Согласно Руководству ВОЗ [9], к респираторной фракции относятся частицы с размером более 0,1 мкм и менее 5-10 мкм, которые особенно долго способны находиться в воздухе. В настоящее время гигиеническая опасность, исходящая от тонких частиц, составляющих существенную часть атмосферной пыли, достаточно ясна и не вызывает сомнений. Имеются многочисленные данные, свидетельствующие о негативных воздействиях промышленной пыли на человека и другие живые организмы в условиях окружающей среды, а также на экосистемы в целом [5, 15, 65, 71]. В городах и городских агломерациях наиболее тонкие фракции пыли участвуют в формировании ядер конденса-

ции, играющих выдающуюся роль в развитии конденсационных процессов в атмосфере.

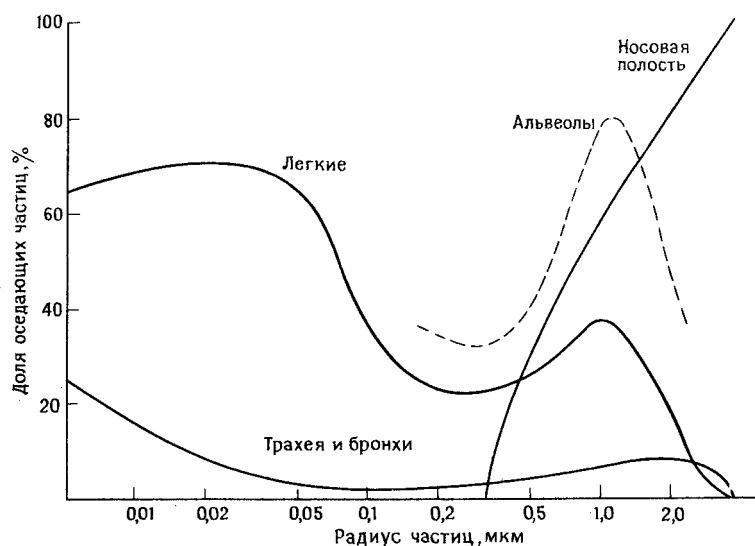


Рис. 1. Доля частиц различных размеров, оседающих в разных участках дыхательных путей [5].

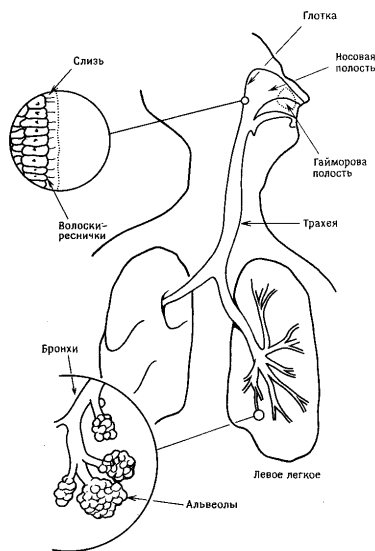


Рис. 2. Схематическая диаграмма системы дыхания человека

Атмосферная пыль и аэрозоли твердых частиц ослабляют солнечное излучение в результате рассеяния, отражения и поглощения солнечных лучей, что влияет на климатические особенности данной местности. Осаждаясь на растения, пыль, особенно обогащенная оксидами кальция, воздействует на процесс фотосинтеза, а пыль, содержащая тяжелые металлы оказывает непосредственное токсическое дей-

ствие на растительность. Присутствие SO<sub>2</sub> в воздухе не влияло на поглощение или транслокацию металлов, но повреждение листьев, вызванное ими, в присутствии SO<sub>2</sub> усиливалось (табл. 2).

Таблица 2. Действие пыли, содержащей Cd, Pb, Cu и Mn, на урожай (сухая масса) и повреждение листьев/цветков [19]

Вид растения	Обработка	Относительный урожай, % *	Относительное повреждение, % *
Lattuca sativa (листья)	Пыль	94,4	20,2
	Пыль+SO <sub>2</sub>	92,6	31,9
Setaria italica (листья)	Пыль	63,8	32,9
	Пыль+SO <sub>2</sub>	69,3	41,1
Tagetes sp. (цветы)	Пыль	-	18,4
	Пыль+SO <sub>2</sub>	-	31,0

\* Относительно контроля; в пыли содержалось 5,2 мг Cd, 488 мг Pb, 40,8 мг Cu, 72,8 мг Mn на 1 м<sup>2</sup>.

Пыль, образуя в условиях города отложения на различных поверхностях, играет важную роль в интенсификации коррозии краски, металлов, силикатов, карбонатов, стекла, волокнистых материалов. Это в значительной мере обусловлено тем, что, как правило, пыль содержит гигроскопические включения, обогащенные сульфатами и хлоридами. Серная кислота, присутствующая в осажженной пыли и аэрозолях, вызывает еще более усиленную коррозию камня, стекла и металлов [65]. Установлена линейная зависимость частоты покраски различных городских строений и конструкций от концентрации аэрозолей в атмосфере. Так, в г. Фэйр-фексе, где среднегодовая концентрация аэрозолей в атмосфере была 60 мкг/м<sup>3</sup>, окраску домов проводили через каждые четыре года [20]. В Стойбенвилле, где указанная концентрация достигала 235 мкг/м<sup>3</sup>, частота дополнительных окрасок составляла более одного раза в год.

Чрезвычайно велика роль пыли в концентрировании различных загрязнителей, содержащихся в атмосферном воздухе. Хорошо известно, что многие химические элементы (особенно тяжелые металлы) присутствуют в атмосфере главным образом в составе пыли и аэрозолей твердых частиц. В табл. 3 приведены наиболее типичные интервалы концентраций аэрозольной формы химических элементов в атмосферном воздухе различных районов Европы, Азии, Америки и Океании. Как правило, минимальные значения характерны для неосвоенных и малоосвоенных территорий, максимальные - для промышленно-урбанизированных и горнодобывающих районов. В табл. 4 даются средние концентрации химических элементов в воздухе типичных районов мира. Установлено, что токсичные элементы (например, As, Sb, Pb, Cu, Ni, Zn, S, Hg, Cd) в условиях окружающей среды чаще всего интенсивно накапливаются в тонких (< 2 мкм) фракциях атмосферной пыли [8, 112]. В промышленных и городских районах формирование техногенных геохимических аномалий в

почвенном и снеговом покровах в значительной мере обусловлено поступлением в атмосферу и последующим осаждением на подстилающую поверхность именно промышленной пыли.

Таблица 3. Уровни содержания химических элементов в атмосферном воздухе [4]

Элемент	нг/м <sup>3</sup>	Элемент	нг/м <sup>3</sup>
Бериллий	0,16-0,50	Индий	0,03-2,1
Натрий	2,7-7500	Олово	0,17-71,6
Магний	0,32-3000	Сурьма	0,001-63
Алюминий	0,32-6200	Теллур	≤ 4000
Кремний	228-4250	Цезий	0,02-0,76
Калий	0,14-10400	Барий	0,2-140
Кальций	0,15-7000	Лантан	0,00021-9,1
Скандий	0,0009-3,8	Церий	0,001-20
Титан	30-280	Неодим	3,2-6
Ванадий	0,0006-6000	Самарий	0,0008-1,4
Хром	0,0025-144	Европий	0,02-24
Марганец	0,05-910	Гадолиний	0,25-1,6
Железо	0,5-17000	Тербий	0,07-0,3
Кобальт	0,0004-23	Иттербий	0,02-1,2
Никель	0,35-315	Лютеций	0,01-0,24
Медь	0,025-4000	Гафний	0,03-1,7
Цинк	0,008-5800	Тантал	0,11-0,47
Галлий	0,25-1,4	Вольфрам	0,2-18
Мышьяк	3-190	Золото	≤ 0,01
Селен	0,004-300	Ртуть	0,12-50
Рубидий	1,37-30	Висмут	≤ 0,63
Серебро	0,005-22	Торий	0,05-4
Кадмий	0,003-300	Уран	0,10-1,47

### ***Источники пыли и уровни ее содержания в атмосфере***

Пыль попадает в атмосферу как естественным путем (природная пыль), так и в результате деятельности человека (техногенная пыль). Основными источниками поступления природной пыли являются вулканические извержения, поверхность океана (кристаллы морской соли), ветровая эрозия земной поверхности (особенно пыльные бури), лесные массивы (спора и пыльца растений), лесные и торфяные пожары. Определенное количество первичных атмосферных частиц представлено микроорганизмами, останками насекомых, спорами грибов. Существует постоянный приток в атмосферу Земли пылевых частиц из космоса [33, 64], который оценивается от 300-900 до  $10^5$ - $10^6$  т/сут [33]. По [2], за последние 570 млн. лет в ходе космической бомбардировки Земли было перемещено  $1,8 \times 10^{15}$  т вещества при общей массе его выбросов в  $4,6 \times 10^{14}$  т.

Таблица 4. Содержание элементов в атмосферном воздухе, нг/м<sup>3</sup> [49]

Элемент	Южный полюс	Континентальные фоновые участки	Природный фон городов мира	Природный фон городов Сибири	Города, максимальные концентрации
S	49	-	4000	8000	16000
Si	-	-	1000	2000	63000
Cl	2,4	90	700	800	28000
Al	0,82	1200	600	300	18000
Ca	0,49	-	600	400	28000
Fe	0,62	100	500	700	24000
Mg	0,72	-	400	400	11000
K	0,68	-	400	300	40000
Na	3,3	140	300	100	9900
Pb	-	10	200	100	7200
Zn	0,033	10	80	60	2200
Ti	0,1	-	80	100	140
F	-	-	80	-	300
Br	2,6	4	30	4	1500
Cu	0,03	3	30	70	1200
Mn	0,012	3	30	30	760
Ni	-	1	10	-	320
Ba	0,016	-	9	20	100
V	0,0013	1	7	2	2000
I	0,74	-	6	1	140
Cr	0,04	0,8	5	5	300
Sr	0,052	-	4	5	50
As	0,031	1	4	2	110
Rb	0,002	-	2	5	10
Sb	0,0008	0,5	2	0,5	400
Cd	< 0,015	0,4	2	3	140
Mo	-	-	1,4	2	10
Se	< 0,8	0,3	2	0,8	22
Ce	0,004 <sup>3</sup>	-	1	1	28
Hg	0,17	0,3	0,7	0,5	110
W	0,0015	-	0,7	0,7	23
Ru	-	-	-	0,7	-
La	0,00045	-	0,6	0,6	13
Ga	< 0,001	-	0,5	-	1,4
Co	0,0005	-	0,5	1	38
Ag	< 0,0004	0,1	0,4	0,8	53
Cs	0,0001	-	0,2	0,3	120
Sc	0,00016	-	0,2	0,4	6,6
Th	0,00014	0,05	0,1	0,2	4,5
U	-	-	0,1	0,2	0,12
Sm	0,00009	-	0,08	0,1	2,8
In	0,00005	-	0,06	0,02	20
Ta	0,00007	-	0,04	0,08	0,1
Hf	0,00006	-	0,04	0,1	5,1
Yb	< 0,05	-	0,03	0,05	0,1
Eu	0,00002	-	0,03	0,04	19
Au	0,00004	-	0,02	0,01	1,3
Re	-	-	-	0,02	-
Lu	0,000067	-	-	0,003	0,04

Основными техногенными источниками твердых веществ в атмосферу является промышленность, на долю которой, например в США, приходится более половины их общей техногенной эмиссии, на втором месте находятся выделяемые в отдельную группу стационарные источники, сжигающие ископаемое топливо (особенно уголь), на третьем - автотранспорт (табл. 5). Значительное число известных производственных процессов сопровождается интенсивным пылевыведением. К наиболее пылеопасными относятся разнообразные технологические операции на предприятиях горнорудной и угольной промышленности, по добыче и производству строительных материалов, в черной и цветной металлургии, в некоторых отраслях машиностроения, в фарфорово-фаянсовой, стекольной, текстильной, пищевой промышленности.

Таблица 5. Оценка выбросов аэрозолей техногенного происхождения в атмосферу с территории США, млн. т/год [20]

Источник	1960	1980
Транспортные средства	0,7	1,4
Стационарные источники, сжигающие топливо	4,9	1,4
Промышленные источники	12,0	3,7
Ликвидация твердых отходов	0,9	0,4
Другие	1,7	0,9
Всего от техногенных источников*	20,2	7,8

\* Доля антропогенных источников составляет 50% общей поставки аэрозолей в атмосферу.

Анализ данных по эмиссии вредных веществ промышленностью разных стран показывает, что доля твердых веществ от общего выброса (т. е. суммы газообразных, жидких и твердых веществ) обычно колеблется в пределах 10-20%. Например, для России этот показатель относительно стабилен в последние годы и составляет около 16-19% (табл. 6). В середине 1990-х гг. в России явным лидером по выбросу твердых веществ являлась электроэнергетика (табл. 7). Это, отчасти, было обусловлено тем, что за ее пределами оказались очень крупные предприятия черной металлургии, производства цемента и других строительных материалов.

Таблица 6. Выбросы вредных веществ промышленностью России, тыс. т [14]

Показатель	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Всего	22167,7	19528,3	18140,4	16661,03	15852,07	14949,82
В том числе твердых	4299,7	3481,0	3192,2	2772,47	2587,13	2396,47
Доля твердых веществ, %	19,4	17,8	17,6	16,6	16,3	16

Особую разновидность представляет пыль, поступающая из открытых источников. В зарубежной практике ее выбросы делятся на два класса [20]. К первому классу относятся местные выбросы технологиче-

ских процессов (МВТП), которые образуются при различных производственных операциях, но в отличие от собственно технологических выбросов, заключенных в газоходы (т. е. выбросов, поступающих в атмосферу через трубы и, как правило, предварительно подавляемых), попадают в атмосферу через вентиляцию, окна, двери и т. п. (обычно без какой-либо целенаправленной очистки).

Таблица 7. Доля отраслей промышленности в загрязнении атмосферы Российской Федерации в 1995 г., % [69]

Отрасль	Всего	Твердые вещества	Жидкие и газообразные вещества
Вся промышленность	100	100	100
Электроэнергетика	27,7	45,5	23,8
Цветная металлургия	20,4	10,5	22,5
Черная металлургия	15,1	13,3	15,5
Нефтедобыча	7,8	0,9	9,2
Нефтепереработка	5,0	0,3	6,0
Машиностроение	4,0	4,2	4,0
Газовая	3,9	0,1	4,7
Промстройматериалы	3,7	11,4	2,1
Угольная	3,5	2,7	3,6
Деревообработка	2,9	4,1	2,6
Химическая	2,9	2,6	3,0
Пищевая	1,7	1,4	1,7
Оборонная	0,8	0,6	0,8
Легкая	0,4	0,5	0,4

Второй класс МВТП - это выбросы с открытых поверхностей (так называемое пыление), т. е. унос пыли, поднимающейся с открытых площадок в результате дефляции, действия колесного транспорта, при строительных и сельскохозяйственных работах и т. д. Образующуюся при этом пыль часто называют механической. В районах, где отсутствуют существенные промышленные источники, данный способ поступления пыли в атмосферу может быть одной из главных причин загрязнения воздуха. О масштабах проблемы свидетельствуют данные табл. 8.

Таблица 8. Оценка общих объемов пыления открытых источников и выбросов точечных источников в США [20]

Источник	Общая масса выбросов, $n \times 10^6$ т/год	Доля от суммарного выброса, %
Грунтовые дороги	290	74,4
Сельскохозяйственные работы	43	10,9
Строительные работы	25	6,3
Дороги с покрытием	7	1,9
Другие открытые источники	7	1,9
Все точечные источники в сумме	18	4,6
Всего	390	100

С практической точки зрения при анализе путей поступления промышленной пыли в окружающую среду удобно различать:

- организованные выбросы пыли, образующейся при технологических операциях и поступающей во внешнюю среду через специальные системы газоходов и труб, как правило, с соответствующей системой пылеподавления и очистки в аппаратах-пылеуловителях; обычно именно эти пылевые выбросы учитываются в статистической отчетности, но, часто, далеко не полностью, химический состав такой пыли при проведении мониторинга исследуется очень редко;

- неорганизованные выбросы производственной пыли, т. е. местные выбросы пыли, образующейся при технологических процессах, которая попадает в атмосферу через окна, двери, местную вентиляцию; в отдельных случаях системы местной вентиляции могут оборудоваться локальными установками очистки; особую разновидность источников неорганизованных выбросов составляют технологические процессы, выполняемые на открытом воздухе (карьерные работы, взрывы, дробление различных материалов, разгрузка материалов, пыление отвалов и т. п.);

- пылевыбросы с открытых поверхностей (пыление), т. е. поступление (механической) пыли в атмосферу с территории промышленной площадки в результате эоловой эрозии почв и грунтов, хранящихся в пределах производственных зон отвалов сырья и отходов, а также в результате погрузо-разгрузочных работ, атмосферной коррозии различных конструкций и сооружений и т. п.

С эколого-гигиенических позиций необходимо различать:

- технологическую пыль, которая образуется в ходе основных производственных процессов; количество и состав этой пыли характеризуют преимущественно организованный выброс предприятия; при изучении ее состава отбираются пробы пыли из газоходов и очистных установок (аппаратов обеспыливания воздуха или газов);

- вентиляционную пыль, которая образуется при местных технологических процессах, характеризует преимущественно неорганизованные выбросы и поступает в атмосферу в основном через местные системы вентиляции, а также через окна, двери и т. п.; при изучении ее состава отбираются пробы пыли из вентиляционных систем производственных помещений;

- пыль, присутствующую в рабочих помещениях (на рабочих местах), или так называемые «пылесметы», т. е. пыль, которая осаждается непосредственно в рабочих помещениях и в определенной мере отражает качество производственной среды; при изучении ее состава отбирается пыль с различных поверхностей производственных помещений - эстакад, столов, подоконников и т. п.

В наибольшем количестве твердые примеси содержатся в самых нижних слоях атмосферы (в нижней части тропосферы, особенно в слое



до 500 м от поверхности земли), поскольку их основным источником является земная поверхность. Здесь количество частиц изменяется от десятков и даже сотен тысяч на каждый кубический сантиметр воздуха в промышленно-урбанизированных районах и до сотен - над океаном. С высотой число взвешенных в воздухе твердых частиц быстро убывает и на высотах 5-10 км их абсолютное количество составляет всего лишь десятки частиц на кубический сантиметр воздуха [67]. По данным В.И. Компановского и соавт. [26], в нижних слоях тропосферы содержится в среднем  $n \times 10^4$  частиц в  $1 \text{ см}^3$ , а на высоте 4-5 км - лишь 250 частиц. В слое атмосферы до высоты 9 км находится практически вся атмосферная влага, причем около половины ее сосредоточено в нижнем 1,5-километровом слое [27].

При прочих равных условиях приземные слои атмосферы промышленных районов и больших городов отличаются максимальным содержанием пыли в атмосфере (табл. 9). В 1985-1988 гг. средняя концентрация пыли в атмосферном воздухе многих городов быв. СССР находилась в пределах  $50-900 \text{ мкг/м}^3$  [41]. Наиболее типичными были значения  $100-300 \text{ мкг/м}^3$  (при ПДК  $150 \text{ мкг/м}^3$ ). Среднедневные концентрации пыли в воздухе Дели колебались в пределах  $363-751 \text{ мкг/м}^3$  (при принятой в Индии ПДК  $200 \text{ мкг/м}^3$ ) [103]. Средняя концентрация взвешенных частиц в тропосферных пробах над территорией США в 1966-1967 гг. составляла в городских районах  $102 \text{ мкг/м}^3$ , а в прилегающих, промежуточных и удаленных от городов районах - соответственно 45, 40 и  $21 \text{ мкг/м}^3$  [93]. В крупных промышленных городах максимальные концентрации пыли в воздухе могут значительно превышать уровни в  $200-600 \text{ мкг/м}^3$ ; минимальные обычно составляют  $10-40 \text{ мкг/м}^3$  [94]. В отходящих газах промышленных предприятий массовая концентрация твердых частиц, как правило, намного больше и могут значительно превышать  $1 \text{ г/м}^3$  [20].

Таблица 9. Среднее количество частиц пыли в воздухе [4]

Зона	Число частиц размером $> 0,5 \text{ мкм}$ в $1 \text{ м}^3$ воздуха
Промышленные районы	$30 \cdot 10^6 - 60 \cdot 10^6$
Большие города	$15 \cdot 10^6 - 50 \cdot 10^6$
Чистые комнаты с обычным (турбулентным) воздухообменом	$2 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$
Чистые комнаты класса «100» с избыточным ламинарным потоком воздуха	до $3,5 \cdot 10^3$

В городских агломерациях количество выпадающей из атмосферы пыли составляет в среднем  $200-500 \text{ кг/км}^2$  в сутки, достигая в отдельных районах 5-6 тыс.  $\text{кг/км}^2$  (и больше); в районах, удаленных от урбанизированных зон, суточное осаждение пыли обычно не превышает  $10 \text{ кг/км}^2$  [35]. По данным Министерства технологии Великобритании [50], в 1966 г.

в промышленных районах страны на 1 км<sup>2</sup> за год осаждалось 380 т твердых частиц.

Удаленные от промышленных источников территории отличаются намного меньшей запыленностью атмосферного воздуха. Например, содержание пыли в воздухе в районе Земли Нова Бэй (Антарктика) находилось в пределах 0,06-0,9 мкг/м<sup>3</sup>, из которых нерастворимая фракция составляла 5-43% [96]. Большая часть акватории Индийского океана характеризуется содержаниями пыли в атмосфере, обычно не превышающими 0,1 мкг/м<sup>3</sup>, редко достигая 0,1-0,5 мкг/м<sup>3</sup> [54]. В океанических районах с интенсивным выносом материала из пустынных и полупустынных областей уровни ее содержания пыли могут увеличиваться в 8-15 раз. В гранулометрическом спектре преобладают частицы менее 10 мкм, до 50% составляют частицы меньше 1 мкм, а основная доля эолового материала приходится на фракцию 0,5-1 мкм. Как правило, частицы крупнее 5 мкм составляют не более 5% общего содержания твердых веществ [67].

Высокая запыленность окружающей, жилой и производственной среды обуславливает возникновение серьезных эколого-гигиенических проблем. Например, в Государственном докладе «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1998 году» приведены два перечня городов России: а) с наибольшим уровнем загрязнения воздуха, включающий 30 городов, и б) с высоким уровнем загрязнения атмосферы воздуха, включающий 36 городов [14]. В первом списке в 16 городах одним из веществ, определяющих высокий уровень загрязнения, была атмосферная пыль; во втором - в 7 городах приоритетными поллютантами выступали пыль и/или сажа. Необходимо отметить, что подавляющая часть контролируемых в атмосферном воздухе химических элементов связана с аэрозолями и частицами пыли (табл. 10).

Таблица 10. Средние концентрации поллютантов в воздухе российских городов [57]

Компонент	Число контролируемых городов	Средняя концентрация, мкг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>сс</sub> *, мкг/м <sup>3</sup>
Пыль, мг/м <sup>3</sup>	400	0,209	0,15
Сажа, мг/м <sup>3</sup>	44	0,059	0,15
Кадмий	68	0,03	1,0
Кобальт	10	0,003	1,0
Марганец	196	0,17	1,0
Медь	190	0,51	2,0
Никель	196	0,31	1,0
Свинец	196	0,15	0,3

\* Среднесуточная.

Российским санитарным законодательством установлены ПДК (предельно допустимые концентрации) в воздухе рабочей зоны для многих видов промышленной пыли и ПДК аэрозолей преимущественно фиб-

рогенного действия. Значения ПДК, как правило, колеблются от 1 до 10 мг/м<sup>3</sup> [47]. Для некоторых видов пыли существуют ОБУВ (ориентировочные безопасные уровни воздействия) - временные гигиенические нормативы, устанавливаемые на срок 3 года и применяемые для условий опытных и полузаводских установок на период, предшествующий проектированию производства. ПДК различных разновидностей пыли установлены также для воздуха населенных мест.

### ***Инвентаризация пылевых выбросов и технологические аспекты пылеулавливания***

Техногенное воздействие на атмосферу, с одной стороны, требует осуществления систематического контроля за поступлением загрязняющих веществ в окружающую среду, с другой - обуславливает необходимость применения на промышленных предприятиях надежных технологий пылеулавливания и газоочистки. Контроль и инвентаризация техногенных выбросов загрязнителей в атмосферу является важным этапом изучения их потоков распространения в окружающей среде. Требования к эффективности улавливания вредных выбросов определяются существующими практически в любой стране законодательными актами и техническими нормативами.

В большинстве стран СНГ оценка выбросов вредных веществ в атмосферу промышленными предприятиями производится с помощью четырех методов, у каждого из которых есть свои достоинства и свои недостатки [29]: 1) путем прямых инструментальных замеров, 2) использованием индивидуальных норм и нормативов, 3) на основе материальных балансов технологических процессов, 4) на основании усредненных норм и нормативов. В последние годы все большее распространение получает метод расчета выбросов вредных веществ отдельными предприятиями и отраслями промышленности на базе усредненных норм и нормативов, отнесенных к различным единицам: времени, технологическому оборудованию, количеству расходуемого материала, к единице произведенной продукции и т. д.

В зарубежной практике контролю, инвентаризации и учету выбросов твердых частиц (и связанных с ними различных загрязнителей) в атмосферу промышленными и другими источниками уделяется пристальное внимание [87, 95, 101, 107]. В США, например, существуют пять типов ограничительных правил на выброс твердых веществ в атмосферу [20]: 1) эквивалентная мутность (процент видимости), 2) выброс на единицу массы в единицу времени (кг/ч), 3) выброс на единицу продукции или сырья (кг/т. кг/10<sup>6</sup>кДж), 4) концентрация вещества в отходящих газах

(г/м<sup>3</sup>, ppm), 5) концентрация вещества в окружающем воздухе (мг/м<sup>3</sup>). В Европе для унификации принципов и методов оценки эмиссий различных загрязнителей Целевой группой по инвентаризации выбросов ЕМЕП/CORINAIR разработано специальное «Руководство по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу» [87], которое предлагает широкое использование так называемых эмиссионных факторов (удельных показателей выбросов). Более подробно о программе CORINAIR и указанном Руководстве можно прочитать в [22, 23, 48, 68, 88]. Большой вклад в адаптацию указанного Руководства для условий СНГ внесли белорусские исследователи и их российские коллеги [22, 23, 29, 48, 68].

Составной частью программы CORINAIR является проект, направленный на составление европейского кадастра выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Кадастр выбросов рассматривается как система данных с четырьмя составляющими: загрязнители, их источники, пространственные компоненты (территориальные единицы) и временные компоненты. Временной компонент сводится к эталонному году. Данный проект служит для обоснования надежного принципа составления наиболее стабильного, прозрачного и целесообразного документа, который может служить универсальным банком данных [88]. Следует отметить, что в США существует и регулярно обновляется Кадастр токсичных выбросов, созданный Агентством по охране окружающей среды.

Эмиссионный фактор (в литературе возможно использование синонимов: коэффициент эмиссии, коэффициент выброса, удельный выброс, удельный показатель выброса, удельный производственный выброс, показатель выброса) является производственно-технологическим термином, описывающим связь количества выброса загрязнителя с массой переработанного сырья, произведенной конечной или промежуточной продукции. В «Руководстве по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу» [87] особое внимание уделяется процедурам верификации оценок выбросов. В частности, оценку качества данных о выбросах предлагается осуществлять на основе использования таких ключевых понятий, как точность, воспроизводимость, достоверность, надежность, контроль качества, гарантия качества, неопределенность, ратификация, согласованность и т. п. При использовании коэффициентов выбросов предусматривается обязательная оценка их качества. Для этого рекомендуется использовать соответствующую шкалу, принятую в практике инвентаризации атмосферных выбросов в Великобритании, в которой каждому эмиссионному фактору и параметру, характеризующему источник выбросов, в зависимости от количества проведенных измерений и числа обследованных установок, присваивается буквенный рейтинг - от А до Е (табл. 11). Эмиссионные факторы устанавливаются для различных загрязнителей и, соответственно, для разных источников и видов деятель-

ности. Необходимо отметить, что указанное Руководство не является нормативным документом; приводимые в нем эмиссионные факторы рекомендуется применять с учетом специфики конкретных условий производства. Оно в прямом смысле представляет собой «руководство к действию», открытое для обсуждения, дополнения и уточнения. К настоящему времени в Западной Европе и в США разработаны и используются в практике эмиссионные факторы выбросов многих поллютантов [87, 107].

Таблица 11. Рейтинг качества коэффициентов выбросов [95]

Индекс	Характеристика
A	Расчет основан на значительном числе измерений, проведенных на большом количестве установок, полностью представляющих сектор
B	Расчет основан на значительном числе измерений, проведенных на большом количестве установок, представляющих существенную часть сектора
C	Расчет основан на ряде измерений, проведенных на небольшом количестве типичных установок, или техническое заключение базируется на ряде имеющихся фактов
D	Расчет основан на единичном измерении или техническое заключение базируется на ряде имеющихся фактов и некоторых допущениях
E	Расчет или техническое заключение основаны только на допущениях

В России пыль (ее масса в единице объема воздуха) - неперенный показатель состояния атмосферного воздуха в существующей системе мониторинга. Кроме того, практически все промышленные предприятия в обязательном порядке отчитываются за объемы выбросов твердых веществ в атмосферу. Тем не менее, по оценкам экспертов, действующая в стране официальная природоохранная статистическая отчетность, а также различные инвентаризации источников воздействия на среду обитания, тома предельно допустимых выбросов и сбросов, экологические паспорта предприятий, справки о платежах и т. п. охватывают не более 15-20% от реально существующего воздействия [31]. Для конкретных загрязняющих веществ, технологических процессов и производств указанная оценка может меняться в достаточно широких пределах, но, по мнению авторов цитируемой работы, общий характер воздействия будет оставаться неизменным. Это касается не только объема выбросов, но и их качественного состава. В частности, среди промышленных источников загрязнения атмосферы практически без внимания остаются вентиляционные выбросы. Вентиляция представляет собой своеобразную систему: атмосфера (приточный воздух) - производственное помещение (состав воздуха в рабочей зоне, обусловленный действием технологического процесса) - атмосфера (выброс загрязненного воздуха от общесанитарной вентиляции и местных отсосов) [45]. Такие выбросы, в том числе пыли, характеризуются довольно высокими концентрациями различных поллютантов. Очень часто вентиляционные выбросы, особенно общеобменной

вентиляции, при уровнях меньше ПДК в воздухе рабочей зоны, поступают в воздух без очистки. По оценке Л.В. Плотниковой [45], от металлургических агрегатов и оборудования по производству строительных материалов, загрязняющих воздух производственных корпусов, в масштабах страны в атмосферу поступают колоссальные количества различных вредных веществ через аэрационные фонари, которые по своей конструкции и назначению невозможно оборудовать очистными устройствами. Аналогично, загрязненный воздух большинства систем естественной и принудительной вентиляции на многих промышленных предприятиях также попадает в атмосферу без предварительной очистки.

Использование ПДК для контроля состояния атмосферного воздуха часто не дает ответа на вопрос, какой источник выброса вызывает эти концентрации и сколько вредных веществ он выбрасывает в единицу времени. С этой целью введен особый норматив - предельно допустимый выброс (ПДВ). ПДВ вредных веществ в атмосферу - это максимальный разовый (контрольный) выброс в граммах в секунду (г/с) или годовой (т/год). Он устанавливается для каждого источника выбросов и для предприятия в целом, за соблюдением которого организуется контроль. Максимально-разовый и годовой ПДВ от всех источников выбросов должен обеспечить концентрацию вредных веществ в атмосферном воздухе, не превышающую ПДК. ПДВ устанавливаются как для строящихся, так и для действующих предприятий. Разработка ПДВ производится с применением методов расчета загрязнения атмосферы промышленными выбросами и с учетом перспектив развития предприятия, физико-географических и климатических условий местности, расположения промышленных площадок и участков существующей и проектируемой жилой застройки, санаториев, зон отдыха и т. д. При разработке ПДВ для реконструируемого предприятия расчеты выполняются на фактическое положение и на перспективу. Если не удастся обеспечить ПДК, то вместо ПДВ рассчитывается и устанавливается временно согласованный выброс (ВСВ), который периодически, не реже одного раза в пять лет, должен переутверждаться с целью достижения ПДВ. Порядок разработки, согласования и утверждения ПДВ и ВДВ в России рассмотрен в специальных пособиях и нормативных документах [13, 18, 24, 39, 43].

На промышленных предприятиях обычно функционируют две основные системы пылеулавливания: технологическая и санитарная («природоохранная»). Первая предназначена для очистки от пыли воздуха или газов, используемых в технологических целях, вторая - для защиты воздушного бассейна от загрязнения вредными веществами, концентрирующихся в промышленной пыли, которая образуется в ходе различных производственных процессов и операций. Улавливание пыли в местах ее выделения и скопления осуществляется с помощью различных зонтов, рукавов, кожухов, вытяжных шкафов и т. д. В общем случае наиболее распро-

страненные аппараты, служащие основой существующих на предприятиях систем пылеулавливания, подразделяют на четыре группы (табл. 12).

Таблица 12. Основные способы улавливания промышленной пыли [3]

Способ	Средства воздействия	Оборудование
Механический сухой	Осаждение частиц пыли под действием гравитационного поля Земли из медленно движущегося потока воздуха (газов)	Пылеосадительные камеры
	Концентрация пыли в ограниченной части потока воздуха под действием сил инерции движущихся частиц пыли Осаждение частиц пыли под действием центробежной силы из потока воздуха, совершающего вращательное движение	Инерционные жалюзийные пылеуловители  Центробежные пылеуловители (простые и багачейные циклоны)
Механический мокрый	Смачивание частиц пыли водой и осаждение их из воздушного потока	Мокрые циклоны и циклоны-промыватели Центробежные скрубберы Пленочные пылеулавливатели, скрубберы с насадкой и др.
	Фильтрование запыленного воздуха через слой воды и пены	Пылевые водяные и пенные фильтры
Фильтрационный	«Ситовой эффект», адгезионные процессы, физико-химическое взаимодействие частиц осаждаемой примеси	Зернистые загрузки, тканевые фильтры, сетки, волокнистые фильтры
Электрический	Заряжение частиц пыли отрицательными электрическими зарядами и осаждение их на положительно заряженных электродах	Электростатические пылеосадители (электрофильтры)

Целесообразность применения того или иного типа пылеулавливающего устройства определяется требуемой степенью очистки, конкретными технологическими условиями, существующими на предприятии, а также, очень часто, его экономическими возможностями. Как правило, в ряду методов очистки «механический сухой... - ... электрические» стоимость очистки заметно увеличивается, т. е. чем выше эффективность пылеулавливания, тем выше стоимость как уловителя, так и его эксплуатации. Обычно эта зависимость имеет экспоненциальный характер: стоимость увеличивается в 2 раза при увеличении эффективности с 90 до 99% и в 4 раза при увеличении с 99,9 до 99,99%. Связь между эффективностью и стоимостью отражается на выборе применяемого метода; некоторые системы отличаются высокой эффективностью и высокой стоимостью, но снижение эффективности не позволяет достичь снижения стоимости. В табл. 13 дается качественная характеристика преимуществ и недостатков наиболее распространенных систем и устройств улавливания выбросов. Как правило, задачу пылеулавливания удается решить (в той или иной мере) только при использовании двух и более последовательно установленных ступеней очистки отходящих газов.

Таблица 13. Преимущества и недостатки устройств улавливания выбросов [20]

Устройство	Преимущества	Недостатки
Циклон	Способен непрерывно удалять сухую и мокрую пыль; удобен для работы при повышенных температурах; можно применять при большой и малой запыленности	Как правило, неэффективен для улавливания частиц размером 5 мкм; чувствителен к изменениям скорости прокачки; не способен улавливать газовые составляющие
Электрофильтр	Улавливает сухую пыль; невысокий перепад давлений и невысокая эксплуатационная стоимость; эффективное улавливание мелких частиц; удобен в условиях высоких температур	Относительно высокие капитальные затраты; чувствителен к изменению скорости прокачки; электрическое сопротивление частиц влияет на эффективность улавливания и увеличивает затраты на электроэнергию; не способен улавливать газовые загрязнения; изменяется потенциал при улавливании налипающих частиц
Тканевые фильтры	Улавливают сухую пыль; высокая эффективность при малых или умеренных перепадах давлений; эффективное улавливание мелких частиц	Температура газа не может превышать 290°C; волокна могут быть восприимчивы к воздействию химических реагентов; фильтры могут портиться при улавливании кислотных туманов, из-за конденсации, при улавливании липких частиц; не в состоянии улавливать газовые загрязнения
Тканевые фильтры с сорбентом	Одновременное улавливание газов и аэрозолей; высокая эффективность улавливания; сухое улавливание аэрозолей и сорбированных материалов	Потенциальная возможность забивания на входе; возможна проблема вторичного пыления при захоронении
Пневматическое распыление	Одновременная адсорбция газов и удаление пыли; удобно при работе с высокой температурой и влажностью, при сильном загрязнении; можно улавливать частицы диаметром 0,5 мкм и менять эффективность улавливания	Проблемы коррозии и эрозии; пыль улавливается в мокром состоянии; посредственная эффективность при высоких перепадах давлений; требует удаления осаждаемого тумана
Предварительное распыление	Одновременная адсорбция газов и улавливания частиц; удобно при работе с высокими температурами, высокой влажностью, при высокой запыленности; эффективность улавливания может меняться	Высокая эффективность может потребовать создания высокого разрежения; пыль улавливается в мокром виде; сопла могут забиваться; требует улавливания тумана на выходе
Скрубберы тарельчатого и насадочного типа	Одновременная адсорбция газа и улавливание частиц; высокая эффективность улавливания; применимы для невысоких и умеренных перепадов давлений	Низкая эффективность улавливания мелких частиц; не применимы для высоких температур или при высокой запыленности; требуют улавливания тумана на выходе
Мокрый скруббер с ионизацией	Одновременная адсорбция газа и улавливание частиц; низкое потребление энергии; можно улавливать частицы диаметром 0,5 мкм	Неприменим при высокой запыленности; пыль улавливается в мокром виде
Мокрый электрофильтр	Одновременное улавливание частиц и абсорбция газов; низкое потребление энергии; зависит от сопротивления частиц; эффективное улавливание мелких частиц	Низкая эффективность абсорбции газов; чувствителен к изменению газового потока; пыль улавливается в мокром виде



Наименьшей эффективностью обладают механические системы очистки, позволяющие улавливать 70-90% твердых веществ; в последовательно соединенных циклонах эффективность улавливания увеличивается до 95-96%, во влажных скрубберах - до 99%. Наиболее эффективны электрофильтры и особенно тканевые фильтры (99,5%) [20]. Естественно, что в зависимости от специфики производства и на конкретном промышленном предприятии используемые методы очистки выбросов, пылеулавливания и пылеподавления могут отличаться от рассмотренных выше общих схем.

Эффективность противопылевых мероприятий, осуществляемых на промышленных предприятиях, чаще всего оценивается по коэффициенту снижения концентрации пыли  $K_{\mathcal{O}}$ , который рассчитывается по формуле:

$$K_{\mathcal{O}} = (1 - C_K/C_H) \times 100\%,$$

где  $C_H$  - первоначальная концентрация пыли, мг/м<sup>3</sup>,  $C_K$  - концентрация пыли после применения средств и способов пылеподавления, мг/м<sup>3</sup>. Контроль запыленности воздуха осуществляется либо с выделением пыли из воздуха с помощью его фильтрования через специальные фильтры с применением приборов фильтрующего действия (с последующим определением ее весового содержания), либо радиометрическим, фотоэлектрическим и электрометрическим методами (пылемерами) с определением весовой или счетной концентрации пыли. На предприятиях с высокой запыленностью обычно существует особый график измерения концентраций пыли в производственных помещениях и в пределах промышленной зоны с установлением мест и периодичности отбора проб.

## **Промышленная пыль в городской среде**

Исследования химического состава и геохимических особенностей различных разновидностей промышленной пыли выполнены в г. Саранске - крупном индустриальном центре европейской части Российской Федерации. В период проведения указанных исследований г. Саранск характеризовался максимальным значением индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) приоритетными загрязняющими веществами среди 31 города Верхне-Волжского региона [56]. В атмосферу города с промышленными выбросами поступало более 140 веществ различного класса опасности, 20% из которых относились к первому и второму классам опасности. Общая масса пылегазовыбросов от стационарных источников составляла 40 тыс. т/год, причем целенаправленной очистке подвергалось только 41% выбросов. Расчетный выброс вредных веществ от автотранспорта оценивался также примерно в 40 тыс. т/год.

### ***Объекты и методика исследований***

В г. Саранске в начале 1990-х гг. насчитывалось около 60 предприятий и организаций, осуществлявших выбросы вредных веществ в атмосферу. В ходе проведения работ было обследовано 32 предприятия города, краткая характеристика которых дается в табл. 14 и 15. При составлении указанных таблиц использованы сведения, предоставленные заводскими службами экологического контроля и техники безопасности и городским центром Госсанэпиднадзора (прочерк означает, что сведения отсутствуют и(или) выбросы не учитываются по регламенту).

Обследованные предприятия ежегодно поставляли в воздух города порядка 23 тыс. т вредных веществ, из которых 5,1 тыс. составляли пылевые выбросы. Оставшаяся (из упомянутых выше 40 тыс. т) часть вредных веществ приходится главным образом на газовые выбросы ТЭЦ-2 (около 11 тыс. т/год; работает преимущественно на природном газе; запасное топливо - мазут) и котельных городских тепловых сетей, а также на выбросы предприятий по производству стройматериалов (асфальтобетонный завод, ЖБК-2), экскаваторного завода (184 т, из них 44 т пыли) и некоторых других небольших предприятий и организаций. Таким образом, на долю обследованных предприятий приходится основное количество пыли, поступающей в городскую среду. Примерно 5,8 тыс. т пыли на этих заводах ежегодно улавливалось очистными установками, менее трети уловленной пыли - утилизировалось. Остальное количество ее вывозилось на свалку или складировалось на территории предприятий. Так, уловленная пыль заводов СИС-ЭВС (частично), ЭВ, ЗССП, приборостроительного, механического, авторемонтного, инструментального вывозилась на городскую свалку; ЖБК, КПД и Биохимика (древесная пыль) - утилизировалась на месте, мясокомбината (в основном зола) - использовалась для ремонта дорог, Центролита - направлялась в заводские отвалы; заводов медоборудования и тепловозоремонтного - складировалась на территории предприятий.

На предприятиях были отобраны пробы технологической пыли (из циклонов, с фильтров и т. д.), вентиляционной пыли (из местных вентиляционных систем цехов), пылесметов (пыль с различных поверхностей - столов, подоконников, эстакад и т. п.). Отбор проб пыли (в полиэтиленовые пакеты) осуществлялся пластиковой лопаточкой (технологическая и вентиляционная пыль) и с помощью кисти (пылесметы). Кроме того, в пределах промплощадок заводов и организаций были отобраны пробы верхнего горизонта почв (12-15 проб, в пределах заводов СЭЛЗ и СИС-ЭВС - по 30 проб). По возможности, точки отбора почвенных проб располагались равномерно по территории промплощадок, причем каждая проба составлялась из пяти частных (применялся метод конверта).

В пробах промышленной пыли и почв различными химико-аналитическими методами в лабораториях БГГЭ ИМГРЭ проводилось определение валового содержания химических элементов [58]: концентрации Fe, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Cd, Hg, Pb, CaO, MgO исследовались атомно-абсорбционным методом; B, Ti, V, Ge, As, Sn, Sb, Ba, W, Bi - количественным эмиссионным спектральным методом; Sr, Sc, Ga, Y, Zr, Nb - приближенно-количественным эмиссионным спектральным методом. Для извлечения подвижных форм Cu, Co, Ni, Zn, Mn, Cr, Ag, Cd, Pb, CaO и MgO применялась ацетатно-аммонийная вытяжка (pH = 4,2) с атомно-абсорбционным окончанием. Валовый состав почв исследовался стандартными методами (классический силикатный анализ). Для оценки интенсивности концентрирования химических элементов в пыли и почвах промплощадок использовался хорошо известный коэффициент концентрации  $K_C$  [36], который рассчитывался относительно содержания элементов в природных почвах. В работе используются также результаты эколого-геохимических исследований, выполненные автором и его коллегами в г. Саранске и опубликованные ранее [6, 75, 78-85].

### ***Макросостав промышленной пыли***

В морфологическом отношении промышленная пыль достаточно разнообразна, что в существенной мере обусловлено спецификой технологических процессов, производственных операций, составом используемых на предприятиях материалов и сырья (см. табл. 15). В технологических процессах многих предприятий города широко используются различные химические элементы (так сказать, в чистом виде) и/или их соединения; некоторые химические элементы в повышенных концентрациях присутствуют в качестве случайных примесей в составе сырья и материалов. Широкое использование растворителей, органических и неорганических кислот, продуктов переработки нефти (керосина, бензина, дизельного топлива) потенциально увеличивает агрессивность производственной среды, что, несомненно, сопровождается повышенной коррозией различных конструкций и материалов. На многих заводах основными технологическими операциями являются процессы травления, гальванизации, лужения, пайки, обезжиривания, различные виды механической обработки металлов, окраска изделий, сварочные работы, что сопровождающиеся интенсивным образованием значительных количеств металлической пыли, сварочного аэрозоля, аэрозолей красок, лаков, эмалей, пыли различных пластиков. Немаловажным является и тот факт, что в составе образующейся в ходе производственных процессов пыли в значительных количествах присутствуют активные органические и минеральные сор-

Таблица 14. Краткая характеристика предприятий и организаций, на которых изучался состав пыли

Название (сокращение, используемое в тексте)	Основная продукция, некоторые технологические операции	Некоторые используемые материалы (в том числе, химические элементы и/или их соединения)
Электrolамповый завод (СЭЛЗ)	Лампы накаливания, газоразрядные ртутные лампы низкого давления; гальваника, травление	Fe, Cu, Cr, Ni, Mo, W, Hg, Sn, Sb, Cd, Ni, газ, мазут, доломит, песок, цемент, люминофоры, кислоты, растворители, краски, лаки, эмали, канифоль и др.
Завод специальных источников света и электровакуумного стекла (СИС-ЭВС)	Источники света, светильники, пускорегулирующая аппаратура, электровакуумное стекло; химическое полирование стекла, производство Рb-содержащего стекла, гальваника	Al, Zn, Ni, Sb, Fe, Se, Sr, Pb, Mg, Ba, Co, Mn, Hg, F, Ni, Cu, Mo, Cr, Ag, Zr, P, Ca, K, Na, люминофоры, барит, кислоты, растворители, эмали, песок, доломит, мел, сода, глинозем, известь, крахмал, графит, бензин, канифоль, криолит, краски, лаки и др.
Исследовательский и проектно-конструкторский институт источников света (ВНИИИС)	Опытные участки: производство ламп накаливания, кварцевых ламп с галогенным циклом, люминесцентных низкого давления и др.; гальваника	Hg, W, Mo, Fe, Pb-Sn-припой, сода, доломит, красители, эмали, кислоты, растворители, люминофоры, бензин, канифоль и др.
Кабельный завод	Кабельная продукция, изделия из полиэтилена и ПВХ-пластиката; травление медной катанки, наложение металлических (свинец) и синтетических (ПВХ) изоляций	Zn, Pb, Sn, Cu, полиэтилен, ПВХ-пластикат, растворители, кислоты, канифоль и др.
Завод «Электровыпрямитель» (ЭВ)	Полупроводниковые приборы, преобразователи, электроприборы, и электроизделия бытового назначения; гальваника, травление в плавиковой кислоте, окраска, фосфорная диффузия	Cr, Ti, Ni, Fe, Cd, Bi, Cu, Ag, F, B, Mn, Sn, P, K, Na, Al, Pb-Sn-припой, краски, лаки, эмали, кислоты, растворители, графит, пластмассы, стеклопластик, красители, полиэтилен, сода каустическая и кальцинированная и др.
Опытный завод силовой электроники (ОЗСЭ)	Силовые преобразователи, регуляторы тока, трансформаторные подстанции, сварочное оборудование; травление в плавиковой кислоте, фосфорная диффузия	-
Завод специальных силовых преобразователей (ЗСП)	Силовые и электрические вращающиеся преобразователи, бытовые приборы и изделия; окраска	-
Завод полупроводниковых изделий (ЗПИ)	Полупроводниковые приборы, интегральные схемы; гальваника	Тяжелые металлы, фтор, растворители, эмали, кислоты и др.
Приборостроительный завод (Прибор)	Приборы контроля и регулирования процессов, средства автоматизации и запчасти к ним, товары бытового назначения; гальваника, литье пластмасс, окраска, шлифовка	Ni, Cr, Sn, Pb, Ba, Zn, Cu, Cd, Cu, Fe, Al, K, Na, растворители, эмали, грунтовки, лаки, пигменты, кислоты, бензин и др.
Завод железобетонных конструкций (ЖБК)	Сборный железобетон, товарный бетон и раствор, асфальтобетон, гипсовые перегородки,	Цемент, известь, гипс, гравий, песок, нефтешлима, арматурная сталь и др.
Завод крупнопанельного домостроения (КПД)	Керамзитовый гравий	Цемент, песок
Комбинат теплоизоляционных материалов (КТИМ)	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты, изделия теплоизоляционные соевелитовые, плиты минераловатные	Минеральная вата, синтетические связующие, известь, кокс, фенол-спирты и др.
Завод «Керамик» (Керамик)	Камни керамические, кирпич полнотельный	

Окончание табл. 14

Литейный завод (Центролит)	Заготовки серого и ковкого чугуна, углеродистой стали, стальное литье, жароупор; окраска, линейное, заливочно-формовочное	Легирующие добавки (Cr, Ni, Mo, V, W), Na, B, известняк, кокс, уголь, песок, глина, кислоты, растворители, стержневая смесь и др.
Механический завод (Мехзавод)	Велосипеды детские и подростковые, велотулки; гальваника	Cr, Cu, F, Na, K, Pb-Sn-припой, кислоты, растворители, краски и др.
Инструментальный завод (Инструмент)	Напильники, техоснастка и др.; химическая линейка	Cr, кислоты, растворители, щелочи, лаки и др.
Завод медицинского оборудования (Медоборудование)	Медицинская техника и запчасти к ней; гальваника, окраска, сварочное производство	Pb, Ni, Cr, прокат черных металлов, пенопласт, пластик, ДВП, кислоты, электроды, растворители, краски, лаки, органические смолы и др.
Завод автосамосвалов	Автосамосвалы; окраска, сварочное производство	Pb-Sn-припой, Газ сварочный, лаки, краски, эмали, растворители, кислоты, масло индустриальное, электроды и др.
Завод «Резинотехника» (Резинотехника)	Резинотехнические изделия, ткани прорезиненные, конфекционный и товарный клей, спецпродукция; освинцевание рукавов, формовая техника, латунирование	Zn, Cu, Fe, Pb, Cr, тальк, растворители, смягчители, каучуки, пылящие ингредиенты, краски, клей, кислоты, смолы и др.
Тепловозоремонтный завод (ТВРЗ)	Ремонт тепловозов, дизелей, производство вентиляторов, парт, минитракторов, модернизация цистерн; окраска	Fe, Pb-Sn-припой, краски, лаки, растворители, кислоты, электроды, масла, дизтопливо и др.
Авторемонтный завод (АРЗ)	Тракторные и одноосные прицепы, вахтовые автобусы, товаров народного потребления, ремонт автомобилей; окраска; обкатка двигателей	Pb-Sn-припой, краски, эмали, лаки, растворители, кислоты, электроды, бензин, дизтопливо и др.
Консервный завод (Пивкомбинат)	Фруктоовощные, молочные, мясные, мясорастительные консервы	
Хладокомбинат	Безалкогольные напитки, пиво, квас, солод	Сахар, плодово-ягодные соки, эссенция, ячмень, хмель и др.
Мясокомбинат	Хранение продукции, выпуск мороженого	
Автоколонна-1185 (АК-1185)	Мясопродукты	
Автотранспортное предприятие (АТП-1)	Автоперевозки; ремонт автотранспортных средств	Pb-Sn-припой, кислоты, растворители, бензин и др.
Стройтранс	Перевозка пассажиров; ремонт и обслуживание автотранспортных средств	Pb-Sn-припой, кислоты, растворители, бензин и др.
Завод «Биохимик» (Биохимик)	Автоперевозки; ремонт и обслуживание транспортных средств	Pb, щелочи, кислоты, растворители, пенициллин, стрептомицин, ампициллин, сульфадиметоксин, аммиак и др.
Центральная городская котельная (Котельная)	Антибиотики, кровезаменители, инъекционные растворы	Природный газ, мазут
Водо-канализационная служба (ГВК)	Источник централизованного теплоснабжения города (топливо – природный газ, резервное топливо – мазут)	
Республиканская типография	Производственно-эксплуатационная территория, автобаза	Pb-Sn-припой, краски, лаки, эмали, кислоты, растворители, дизтопливо, бензин и др.
	Печатная продукция; высокая печать	Сплавы Sb, Sn, Pb, ортофосфорная и соляная кислоты и др.

Таблица 15. Общая характеристика систем очистки выбросов и пыли

Завод, предприятие	Основные установки очистки выбросов	Характеристика пыли	Выбросы в атмосферу, т/год		
			общие	в т. ч. пыли	уловленная пыль
СЭЛЗ	Адсорберы, циклоны, фильтры и др.	Стекольная, шихты, песка, доломита, соды, цемента, мраморной крошки, древесная, металлическая, канифоли, вольфрама, оксидов калия и натрия	965,3	68,8	239,6
СИС-ЭВС	Адсорберы, скрубберы, фильтры, циклоны и др.	Древесная, бумажная, кварцевая, графита, шихтная, доломита, соды, абразивная, металлическая, керамики, шамота, стекольная	492,1	242	70,2
ВНИИС	Не предусмотрены	-	-	-	-
Кабельный	Газоочистная установка ГОУ-1	Аэрозоль Pb	3,6	0,07	-
ЭВ	Циклоны, гидрофильтры	Дробеструйная, неорганическая наждачная, стеклопластика, графитовая, древесная, сварочный аэрозоль, окрасочный аэрозоль, аэрозоли Mn, Cr, Pb	85	8,8	7,3
ОЗСЭ	Фильтр рукавный	Органическая, Mn	3,32	0,16	2,83
ЗССП	Циклоны, гидрофильтры	Древесная, стеклопластиковая, дробеструйная	40,56	14,04	45,08
ЗППИ	Фильтры рукавные	Микропорошка (карбид кремния), абрикосовой косточки	214,2	0,04	-
Прибор	Циклоны батарейные, пылеосадительные камеры, водяная завеса	Металлическая (преобладает), войлочная, древесная, оргстекла, текстолита	16	2,7	1,7
ЖБК	Циклоны, фильтры мокрой очистки	Неорганическая	715	7088	3902
КПД	Пылеосадительная камера, батарейные циклоны	Цементная, керамзитового гравия	488	299	337
КТИМ	Отсутствуют	Неорганическая, содержащая диоксид кремния, пыль минеральной ваты, коксовая, извести	913	475	-
Керамик	Отсутствуют	Органическая	313	5	-

Окончание табл. 15

Центролит	267 пыле- и газоочистных установок (циклоны, скрубберы и др.)	Неорганическая, формовочная, стали, угля, песка, древесная, сварочный аэрозоль,	14835	2916	10174
Механический Инструментальный	Циклоны	Металлическая	127	17	57
	Циклоны	Органическая и неорганическая, Са(ОН) <sub>2</sub> , аэрозоли Mn, Al, Pb	221	206	130
Медоборудование	Циклоны	Войлочная, текстолита, органическая, металлическая, абразивная.	59	5,5	13
Автосамосвалов	Циклоны	Органическая, аэрозоль краски, оксид Mn, сажа	424	33,6	139
Резинотехника	Рукавные фильтры, циклоны	Сажа, древесная, резиновая, талька, ингредиентов	542	9,5	65,6
ТВРЗ	Циклоны	Древесная (преобладает по массе), неорганическая, аэрозоль сварочный и краски, сажа, бенз(а)пирен	165,7	52	0,9
АРЗ	Циклоны	Органическая, неорганическая, металлическая, оксиды Fe	261,6	2,2	0,6
Консервный	Отсутствуют	-	-	-	-
Пивкомбинат	Циклоны	Органическая	89,2	19,3	751,1
Хладокомбинат	Отсутствуют	-	-	-	-
Мясокомбинат	Отсутствуют	Сажа	10,9	4,9	4,6
АК-1185	Отсутствуют	-	2,8	-	-
АПП-1	Отсутствуют	-	17	-	-
Стройтранс	Отсутствуют	-	1132	-	-
Биохимик	Циклоны, установка каталитического дожигания	Древесная, стекольная, угольная, бумажная, пенициллина, 6-АПК	627	2	2
Котельная	Отсутствуют	-	154	-	-
Горводканал	-	-	-	-	-
Типография	Фильтры Ду359/Д23	-	-	-	-

бенты (пыль органическая, древесная, крахмала, коксовая, доломита, соды, извести, войлочная, цемента и т. п., сажа). На заводах, где развиты процессы механической металлообработки, образуется металлическая, абразивная и наждачная пыль. В составе выбросов предприятий по производству стройматериалов особую роль играет тонкая минеральная пыль (кремнийсодержащая, цементная, минеральной ваты, извести и т. п.). Все это в существенной мере и предопределяет неоднородность химического состава и особенности концентрирования в ней различных химических элементов.

В то же время практически все разновидности промышленной пыли характеризуются высокими содержаниями железа (табл. 16). Безусловно, что в некоторых случаях повышенные количества железа в пыли в определенной степени могут быть обусловлены коррозией материалов систем очистки и вентиляции (например, вентиляционная пыль завода Биохимик) нежели спецификой производственных процессов. Тем не менее, как правило, максимальные содержания этого элемента типичны для пыли предприятий, на которых широко распространены процессы механической обработки проката черных металлов, шлифовка, литье, сварочные работы и т. п. (заводы автосамосвалов, медоборудования, ТВРЗ, АРЗ, механический, Центролит и особенно инструментальный). Пыль остальных предприятий характеризуется уровнями железа, близкими к его среднему содержанию в природных почвах и осадочной оболочке, что, в частности, наиболее ярко проявлено для предприятий по производству строительных материалов, деятельность которых в сущности связана с переработкой осадочных пород. Для конкретных предприятий наблюдаются разные уровни содержания железа в различных разновидностях пыли. Так, на заводах, где развиты процессы механической обработки черных металлов, литья и т. д. более высокие концентрации этого элемента закономерно характерны для технологической пыли. Для пыли других предприятий прослеживается тенденция большей обогащенности железом пылесметов, что может быть следствием его поступления в пыль при коррозии различных конструкций и покрытий.

Промышленная пыль отличается от природных почв и осадочных пород уровнями содержания  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ . Как правило, концентрации указанных оксидов в промышленной пыли намного больше, нежели в почвах, но заметно меньше, чем в осадочной оболочке. Закономерное исключение составляет пыль предприятий по производству строительных материалов. Так, в пыли заводов КПД и КТИМ наблюдаются более высокие уровни  $\text{CaO}$ , в пыли завода КТИМ - повышенные количества  $\text{MgO}$ , что, несомненно, отражает особенности состава перерабатываемого на этих предприятиях основного сырья. Это, в частности, находит отражение в значениях показателей степени кальцитонности и степени доломитонности. Пыль практически всех предприятий отличается пони-



женной (по сравнению с природными почвами) степенью доломитоносности и повышенной степенью кальцитоносности (см. табл. 16).

Таблица 16. Макросостав технологической (1), вентиляционной пыли (2) и пылесметов (3), %

Завод	Пыль	Fe	CaO	MgO	CaO/MgO	MgO/CaO
СЭЛЗ	2	0,70	9,02	4,08	1,60	0,63
ЗССП	2	3,36	7,95	2,27	2,50	0,40
	3	14,2	6,65	1,17	4,10	0,24
	1	10,51	-	-	-	-
ЗППИ Центролит	1	12,72	-	-	-	-
	2	6,15	0,99	0,44	1,70	0,60
	3	2,79	1,15	0,72	1,14	0,88
Механический	1	12,86	-	-	-	-
	2	2,34	2,83	2,35	0,90	1,14
	3	5,90	4,56	1,57	2,10	0,48
Инструментальный	1	56,40	-	-	-	-
	3	12,40	10,10	0,89	8,20	0,12
Автосамосвалов	1	10,41	-	-	-	-
	3	22,0	7,75	1,18	4,80	0,21
Медоборудования ТВРЗ	1	29,20	-	-	-	-
	1	38,00	-	-	-	-
	2	4,64	4,97	0,73	4,9	0,21
	3	14,00	7,00	1,10	4,60	0,22
	1	30,30	-	-	-	-
АРЗ	1	30,30	-	-	-	-
Резинотехника	1	1,68	-	-	-	-
	1	3,63	-	-	-	-
КПД	2	3,82	21,28	2,84	5,4	0,19
	1	3,48	17,03	9,45	1,3	0,77
КТИМ	3	2,78	12,90	4,81	1,90	0,52
	1	3,42	-	-	-	-
Керамик	3	2,68	1,64	1,48	0,80	1,25
	3	3,28	12,00	2,20	3,90	0,26
Стройтранс	3	2,67	4,24	1,45	2,10	0,47
АТП-1	3	9,40	4,38	1,72	1,90	0,53
АК-1185	1	3,70	-	-	-	-
	2	29,57	6,24	1,00	4,50	0,22
	3	3,43	8,55	0,63	10,00	0,10
Биохимик	2	2,48	3,06	0,54	4,74	0,21
	3	6,00	14,70	4,31	2,50	0,41
Консервный	1	0,14	-	-	-	-
Пивобезалкогольных	3	3,13	15,80	7,50	1,50	0,66
Мясокомбинат	3	1,12	2,53	0,43	4,10	0,24
Хладокомбинат	1	8,06	-	-	-	-
	3	6,80	11,50	2,54	3,20	0,31
Горводканал	3	1,88	27,9	1,15	17,5	0,06
Типография	1	5,52	-	-	-	-
	2	1,00	8,05	0,48	12,20	0,08
	3	11,70	14,10	3,70	2,70	0,37
Фоновые почвы	4	0,47	0,70	0,70	0,48	2,07
Осадочная оболочка Земли [59]	3,44	13,2	3,4	2,80	0,36	

В общем случае можно говорить о том, что по степени кальцитонности и степени доломитонности пыль практически всех предприятий в большей степени близка к осадочным породам. Показательные данные, характеризующие средний состав пыли, выбрасываемой в атмосферу предприятиями г. Ярославля: CaO - 37,5%, SiO<sub>2</sub> - 26, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 14,3, K<sub>2</sub>O - 10,8, MgO - 3,5%, 7% - прочие соединения [52]. Как видим, ведущее значение имеет оксид кальция, велика также роль железа и калия; заметно (по сравнению с природными почвами и осадочными породами) понижено содержание кремнезема. Обогащенность пылесметов оксидом кальция на многих предприятиях может быть связана с поступлением в состав пыли материала искусственных покрытий стен (известь, побелка, краски и пр.). Значимость технологического процесса для формирования макросостава пыли неплохо демонстрируется данными табл. 17, из которых можно также сделать вывод о существенной неоднородности (даже в пределах одного предприятия) химического состава пыли в зависимости от ее вида и места образования.

Таблица 17. Распределение Fe, CaO и промышленной пыли различных цехов, %

Завод (пыль)	Цех	Fe	CaO	MgO
КПД (технологическая)	Керамзитового гравия	6,3	-	-
	Бетоносмесительный-1	2,39	-	-
	Бетоносмесительный-2	2,94	-	-
КПД (вентиляционная)	Керамзитового гравия	5,27	1,865	4,425
	Бетоносмесительный-1	2,36	40,7	1,26
СЭЛЗ (технологическая)	№ 8	0,98	-	-
	№ 14	1,38	-	-
Типография	Высокой печати	0,94	-	-
	Линотипный	10,1	-	-
ЗГПИ (технологическая)	№ 12	33,4	-	-
	№ 18	6,95	-	-
Инструментальный (технологическая)	Кузнечный	55	-	-
	Циклон	57,8	-	-
СЭЛЗ (вентиляционная)	Инструментальный	0,49	0,96	0,23
	Столярный	0,94	7,7	0,62
	Обработки доломита	0,68	18,4	11,4
ТВРЗ (вентиляционная)	№ 1	0,6	1,01	0,14
	Окраски	0,17	8,1	0,99
	Ремонтно-механический	13,9	5,67	0,77
Механический (вентиляционная)	Заточный станок	5,25	0,51	0,19
	Агрегатная станция	0,67	2,12	7,31

Таким образом, технологическая и в определенной мере вентиляционная пыль заводов, в технологии которых используются процессы механической обработки металлов, может быть охарактеризована как пыль «железистых» пород. Аналогичная пыль прочих предприятий в большей мере представляет собой смешанное образование, характери-

зующееся относительно высокой степенью или кальцитонности, или доломитонности, значения показателей которых в общем случае достаточно близки аналогичным модулям, рассчитанным для осадочной оболочки. В каждом конкретном случае достаточно специфичен состав пылесметов, что часто определяется значимостью для его формирования процессов и явления, напрямую не связанных с основными технологическими процессами, свойственных данному заводу (цеху, производству).

### ***Химические элементы в промышленной пыли***

С эколого-геохимической точки зрения важнейшей особенностью промышленной пыли, образующейся на предприятиях города, является интенсивное концентрирование во всех ее разновидностях широкого круга химических элементов, содержания которых существенно превышают их уровни в природных (фоновых) почвах (табл. 18-25).

Обычно конкретный завод (тип производства) отличается специфическим обликом геохимической ассоциации, типичной для той или иной разновидности пыли. В существенной мере данные факты отражают специфику технологических процессов и особенности состава используемых на заводах сырья, материалов, веществ. Специфичность проявляется главным образом в различных количественных соотношениях одних и тех же химических элементов, входящих в разные ассоциации (т. е. в их положении в ранжированном по значениям  $K_C$  ряду). Часто наблюдается качественное обеднение состава ассоциаций, особенно для предприятий стройиндустрии, пищевой промышленности и т. п., тогда как в пыли заводов, где развиты механические и физико-химические процессы обработки различных материалов, широко используются химические элементы и их соединения практически всегда фиксируются полиэлементная геохимическая ассоциация. Особенно ярко специфичность ассоциации проявляется в составе элементов, наиболее интенсивно концентрирующихся в том или ином виде пыли. В редких случаях специфичность геохимической ассоциации проявляется в экстремально высоких концентрациях какого-либо химического элемента, свойственных именно для пыли данного предприятия. Это, например, очень высокие уровни бора в технологической пыли завода СИС-ЭВС и ВНИИИС, ртути в технологической пыли завода СЭЛЗ, сурьмы в технологической пыли заводов СЭЛЗ и ЗППИ. Не вызывает сомнений, что состав геохимической ассоциации, свойственной той или иной пыли, тому или иному предприятию (типу производства), а также интенсивность концентрирования в пыли химических элементов отражают специфику технологических процессов и особенности состава используемых сырья и материалов.

Таблица 18. Среднее содержание химических элементов в пыли электротехнических предприятий, мг/кг

Элемент	ВНИИС			СЭЛЗ			СИС-ЭВС			СК		Природные почвы
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	3	
Бор	2600	130	45	40	-	-	2800	50	100	22	50	20
Скандий	3	3	5	7	-	-	8	1	5	5	3	7
Титан	650	1200	1250	700	-	-	8400	7600	8000	3000	1500	5000
Ванадий	20	150	125	175	-	-	200	200	300	35	100	90
Хром	55	400	500	450	50	46	700	6000	100	240	150	70
Марганец	680	3400	900	8500	290	5300	3700	3400	100	650	800	1000
Кобальт	14	100	165	20	10	10	50	54	30	10	20	8
Никель	48	270	1540	80	65	56	480	640	100	160	30	50
Медь	5000	1400	500	470	120	4700	9200	9600	150	44000	6000	30
Цинк	1300	24000	5000	2200	710	2600	4400	4600	600	3600	2000	90
Галлий	2	-	8	2	-	-	15	2	80	10	6	20
Германий	3	25	3	12	-	-	3	3	5	3	3	1,2
Мышьяк	11	-	280	-	-	-	7	6	7	5	5	6
Стронций	30	-	90	3000	-	-	30	400	30	100	100	250
Иттрий	1	-	5	40	-	-	3	1	5	10	3	40
Цирконий	100	-	65	10	-	-	100	30	100	100	50	400
Ниобий	3	-	35	3	-	-	3	3	3	3	3	10
Молибден	7	-	17	20	5	1,5	8	20	33	11	6	1,2
Серебро	0,1	2,5	0,2	0,2	0,06	0,05	6,4	9	0,15	1,3	0,6	0,05
Кадмий	1	3	60	1800	2	1700	3	3	1	40	3	0,35
Олово	550	140	19	250	-	-	7	27	8	4600	500	4
Сурьма	3	5	10	1500	-	-	27	19	28	200	35	1
Барий	100	300	650	25000	-	-	300	8000	100	800	800	500
Вольфрам	25	900	330	200	-	-	30	10	60	20	200	1,5
Ртуть	4	1	2	12	2	-	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,06
Свинец	60	1400	950	1200	-	4200	1200	1500	5000	3300	2000	15
Висмут	3	2	3	<3	-	-	3	2	5	3	5	0,2

Примечание. Здесь и далее в табл. 18-24: пыль: 1 - технологическая; 2 - вентиляционная; 3 - пылесметы; прочерк - данные отсутствуют.

Таблица 19. Химические элементы в пыли заводов электроники и приборостроения, мг/кг

Элемент	ОЗСЭ		Электровыпрямитель		ЗССП		ЗППИ			Приборостроительный		
	1	3	1	3	1	3	1	2	3	1	2	3
Бор	-	-	-	-	-	-	6	-	-	270	280	150
Скандий	-	-	-	-	-	-	1	-	-	6	2	3
Титан	-	-	-	-	-	-	500	-	-	3500	10000	1500
Ванадий	-	-	-	-	-	-	10	-	-	1400	350	150
Хром	680	400	1800	390	250	270	415	290	1200	7000	4000	3000
Марганец	790	530	1600	440	790	9	488	540	1200	2700	1700	800
Кобальт	14	12	130	15	14	34	14,5	14	80	22000	650	1000
Никель	470	130	690	50	470	89	362	91	650	20000	1400	1000
Медь	190	420	960	230	190	520	338	300	1400	45000	1800	1500
Цинк	550	4700	290	3200	550	-	30625	1320	10000	3500	2800	10000
Галлий	-	-	-	-	-	-	1	-	-	10	1	15
Германий	-	-	-	-	-	-	3	-	-	5	2	-
Мышьяк	-	-	-	-	-	-	5	-	-	4	3	5
Стронций	-	-	-	-	-	-	20	-	-	20	-	30
Иттрий	-	-	-	-	-	-	3	-	-	3	-	3
Цирконий	-	-	-	-	-	-	20	-	-	300	-	100
Ниобий	-	-	-	-	-	1,3	2	-	-	2	-	3
Молибден	60	260	38	50	-	0,06	0,8	-	-	470	350	20
Серебро	0,2	16	0,2	0,05	-	23	8	-	-	2	1	1
Кадмий	220	21	28	11	-	-	2	16	4	-	-	50
Олово	-	-	-	-	-	-	8	-	-	240	45	100
Сурьма	-	-	-	-	-	-	1000	-	-	-	1	2
Барий	-	-	-	-	-	-	200	-	-	100	-	600
Вольфрам	-	-	-	-	-	-	3	-	-	6000	6200	800
Ртуть	-	-	-	-	-	-	0,06	-	-	0,6	-	0,6
Свинец	1200	480	290	760	-	-	522	2320	420	580	720	1000
Висмут	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	5

Таблица 20. Химические элементы в пыли заводов металлообработки и машиностроения, мг/кг

Элемент	Инструментальный		Механический			Автосамосвалов		ТВРЗ			Медоборуд	АРЗ		
	1	3	1	2	3	1	3	1	2	3	1	1	2	3
Бор	9	-	360	500	40	13	20	35	500	-	430	24	250	100
Скандий	1	-	2	2	2,5	2	1	2	2	-	6	3	1	5
Титан	1500	-	2200	3000	1500	7660	5000	800	550	-	5200	525	6600	3000
Ванадий	23	-	40	500	125	25	50	500	55	-	5600	80	100	200
Хром	870	250	1872	948	160	1576	200	3700	1910	360	43000	420	1580	1000
Марганец	1400	1800	2395	2250	450	4687	11300	2800	1617	6250	2200	200000	4500	10000
Кобальт	55	27	140	26	9	18	33	570	22	15	220	46	100	200
Никель	730	110	525	334	70	119	220	3400	119	120	2500	44	960	500
Медь	1150	310	98593	67430	445	313	610	7900	985	900	12000	210	1200	10000
Цинк	62	4300	578	39558	1002	2319	780	2200	3445	1000	4700	175	1100	3000
Галлий	16	-	9	3,5	3,5	7	10	15	2	-	10	7	30	10
Германий	2,3	-	1	1	-	1	-	1	1	-	5	3	10	-
Мышьяк	10	-	25	500	15	6	4	10	5	-	4	6	5	6
Стронций	20	-	30	30	55	40	45	40	300	-	20	20	30	100
Иттрий	3	-	3	7	4	4	1,5	3	65	-	3	3	2	3
Цирконий	15	-	24	30	50	20	40	20	20	-	80	100	100	100
Ниобий	5	-	1	10	5	3	3	2	4	-	2	2	100	3
Молибден	65	-	350	27	11	2	4,3	1900	10,5	-	2800	18	100	30
Серебро	0,23	-	0,7	0,05	0,13	0,05	0,15	0,08	0,2	-	0,3	0,1	8	2
Кадмий	3	23	5	6,8	1	14	1	74	20	2,5	5	-	4	1
Олово	53	-	102	256	28	7	15,5	65	255	-	76	12	40	400
Сурьма	5	-	3	1	5	4	3	3	4	-	-	100	1	3
Барий	90	-	233	850	250	167	200	1600	15000	-	500	105	500	500
Вольфрам	20	-	106	1000	45	15	11,5	300	250	-	30000	0,3	40	1000
Ртуть	0,038	-	0,3	0,1	0,39	0,58	0,95	0,88	0,3	-	0,4	1680	0,1	0,4
Свинец	1000	880	317	1655	220	5213	510	340	13292	1000	230	-	1450	3000
Висмут	0,51	-	0,4	590	1,5	1	0,2	120	30	-	10	-	-	0,3



Таблица 21. Химические элементы в пыли заводов по производству стройматериалов, мк/кг

Элемент	ЖБК			КПД		Керамик		КТИМ	
	1	2	3	1	2	1	3	2	3
Бор	20	20	80	41	40	20	20	35	50
Скандий	3	3	3	2	3,5	1,5	1	2	1
Титан	800	960	800	1080	2500	1500	1000	550	3000
Ванадий	36	60	100	94	180	70	80	300	150
Хром	130	134	300	235	170	95	76	96	120
Марганец	210	1600	600	385	360	255	220	1544	600
Кобальт	8	12	20	8,8	8	14	2	7	2
Никель	18	35	50	44	43	75	45	63	88
Медь	110	154	600	86	337	41	620	500	83
Цинк	110	4500	1500	228	500	145	120	2197	3200
Галлий	6	15	6	10	1	12	15	2,5	5
Германий	1	1	-	1	5	3	-	1	-
Мьшьяк	7	20	6	11	12	6	5	5	4
Стронций	100	40	100	250	530	35	30	65	200
Иттрий	1	3	3	3	6	4	3	2	3
Цирконий	30	30	60	30	35	30	30	20	20
Ниобий	3	3	3	3	3	4	3	2	3
Молибден	2	2	10	3,4	1	0,7	0,8	2	2
Серебро	0,1	0,5	0,1	0,14	0,08	0,04	0,05	1	0,2
Кадмий	-	1	1	3	1	10	16	1	2
Олово	8	3	20	5,2	9	5,5	1	8	3
Сурьма	300	3	5	3	8,5	3	5	1	5
Барий	5	300	500	400	700	250	400	200	300
Вольфрам	0,6	3	200	22	5	3	3	5	3
Ртуть	30	0,5	0,1	0,086	0,3	0,03	0,1	0,22	0,35
Свинец	-	64	1000	87	250	25	70	150	80
Висмут	-	2	2	1	1	1	1	1,5	0,4

Таблица 22. Химические элементы в пыли предприятий по производству медицинских препаратов и пищевых продуктов, мг/кг

Элемент	Биохимик			Пивобезалкогольных напитков			Консервный		Хладокомбинат	Мясокомбинат
	1	2	3	1	2	3	2	3	3	3
Бор	30	350	50	15	100	100	30	-	335	-
Скандий	2	2	1	3	3	5	2	-	5	-
Титан	5000	2000	800	1300	10000	1500	3000	-	1250	-
Ванадий	40	80	60	22	600	30	60	-	35	-
Хром	105	190	64	18	3000	60	230	230	58	89
Марганец	1090	483	230	300	1000	100	720	1000	170	390
Кобальт	12,5	11	10	1	50	30	7	10	3	10
Никель	48	103	25	10	1000	15	184	130	34	180
Медь	978	586	60	28	1000	150	340	380	48	110
Цинк	1083	7866	550	25	1500	800	57000	3800	785	3400
Галлий	3	3,5	3	-	10	2	3	-	3	-
Германий	1	1	-	3	1	-	1	-	-	-
Мышьяк	5	6	7	5	5	4	5	-	4	-
Стронций	100	300	200	25	150	300	200	-	70	-
Иттрий	3	6,5	3	3	3	5	10	-	5	-
Цирконий	40	50	30	100	100	80	30	-	65	-
Ниобий	5	4,5	3	2	150	3	4	-	3	-
Молибден	5	5,5	3	1	15	10	3	-	1	-
Серебро	0,3	0,1	0,08	0,1	8	0,08	3	3	0,4	-
Кадмий	5	3	3	-	1	2	12,5	3	3	-
Олово	40	10	3	4	100	5	120	-	2,5	-
Сурьма	3	3	3	-	1	1	35	-	3,5	-
Барий	600	650	300	100	500	500	300	-	125	-
Вольфрам	3	100	-	3	50	-	50	-	-	-
Ртуть	0,06	0,5	0,2	0,08	0,05	0,1	0,1	-	0,65	-
Свинец	910	533	70	18	1000	60	55500	2300	90	150
Висмут	1	1	1	-	3	5	40	-	1,5	-



Таблица 23. Химические элементы в пыли предприятий, мг/кг

Элемент	Центролит			Резинотехника		Типография			Котельная	
	1	2	3	1	3	1	2	3	1	3
Бор	6	33	30	7	30	20	-	-	30	-
Скандий	1	2	1	1	1	1	-	-	1	-
Титан	800	4000	2000	3800	1000	600	-	-	2000	-
Ванадий	40	100	50	10	50	20	-	-	150	-
Хром	133	205	300	360	180	110	90	150	330	120
Марганец	1063	1550	470	123	370	639	240	470	940	850
Кобальт	9,7	14	12	26,8	22	10	5	90	13	17
Никель	106	141	180	492	500	74	59	25	250	140
Медь	364	388	130	247	940	235	900	240	210	120
Цинк	447	495	140	32914	4500	1075	810	1000	990	680
Галлий	9	4	8	1	3	3	-	-	8	-
Германий	2	1	-	3	-	2	-	-	1	-
Мышьяк	5	5,2	6	5	5	5	-	-	6	-
Стронций	20	35	50	70	150	60	-	-	40	-
Иттрий	3	15	10	3	3	3	-	-	-	-
Цирконий	60	500	200	10	50	20	-	-	20	-
Ниобий	4	6	5	3	3	2	-	-	300	-
Молибден	3	3,4	15	0,4	3	0,6	5	-	5	-
Серебро	0,18	0,1	0,1	0,05	1,5	10	14	6	0,06	-
Кадмий	2	2	1	9,6	2	3	2	6	2	2
Олово	8,7	11	8	0,6	15	600	-	-	15	-
Сурьма	5	1	3	3	3	250	-	-	15	-
Барий	80	200	200	6500	300	300	-	-	200	-
Вольфрам	3	13	30	2	10	2	-	-	15	-
Ртуть	0,03	0,3	0,25	0,85	0,2	0,9	-	-	0,2	-
Свинец	603	400	90	542	250	79100	2000	17700	390	220
Висмут	0,5	1	3	0,5	1	1	-	-	0,3	-

Таблица 24. Химические элементы в пылесметах автотранспортных организаций, мг/кг

Элемент	Стройтранс	АТП-1	АК-1185	ГВК
Бор	-	40	15	-
Скандий	-	1	1,5	-
Титан	-	1333	800	-
Ванадий	-	73	15	-
Хром	150	52	170	78
Марганец	470	430	700	330
Кобальт	90	2	9	4
Никель	25	31	100	15
Медь	240	126	6600	71
Цинк	1000	425	9300	4800
Галлий	-	5	1	-
Мышьяк	-	6	6	-
Стронций	-	77	60	-
Иттрий	-	3	4	-
Цирконий	-	53	340	-
Ниобий	-	23	75	-
Молибден	-	0,9	0,6	-
Серебро	0,08	0,1	23	0,05
Кадмий	6	6	240	3
Олово	-	33	10	-
Сурьма	-	5	5	-
Барий	-	200	100	-
Ртуть	-	1,3	3	-
Свинец	580	825	58500	260
Висмут	-	1	1	-

Так, высокие содержания в пыли завода СЭЛЗ Sb, Cd, Ba, Mn, Ag явно обусловлены их присутствием в люминофорах, Hg, Mo, W, Sn - непосредственным применением этих металлов в производстве люминесцентных ламп и ламп накаливания. Пыль СИС-ЭВС, где применяются материалы для варки стекла, имеющие литогенную основу (сода, песок, доломит и др.), характеризуется повышенными содержаниями таких литофильных элементов, как Ti, B, V, Ba, Sr. На кабельном заводе используются Sn, Pb, Zn, Cu, а Cd входит в состав ПВХ-пластиката, что отражается в их концентрировании в пыли. Безусловно, закономерны высокие содержания Pb в пыли типографии, авторемонтного завода и автотранспортных предприятий. Высокие концентрации Mn в пыли заводов автосамосвалов и авторемонтного обусловлены массовым применением процессов сварки металлических конструкций, сопровождающихся, как известно, выделением в атмосферу значительных количеств аэрозолей данного металла. Высокие концентрации Cd в пыли ряда предприятий связаны с окраской изделий (тепловозоремонтный, автосамосвалов). Повышенные уровни Hg в пыли и пылесметах хладокомбината, автотранспортных предприятий, котельной и ряда других могут быть связаны с поступлением из Hg-содержащих приборов, в пыли заводов по производству стройматериалов она присутствует в качестве примеси в сырье.

Таблица 25. Геохимические ассоциации в промышленной пыли (1 – технологическая; 2 – вентиляционная; 3 - пылесметы)

Завод	Пыль	$K_c$ относительно фонового содержания в почвах					
		> 300	300-100	100-30	30-10	10-3	3-1,5
СЭЛЗ	1	Cd-Sb	Hg-W	Pb-Sn-Ba-As	Zn-Mo-Cu-Sr-Ge	Cr-Bi-Ag	Co-B-V-Ni
	2	-	-	Zn-Hg	-	-	Cd-Mo-Cu
	3	Cd-Pb	Cu	-	Zn	Mn	-
СИС-ЭВС	1	Cu	B-Ag	Pb-Zn	Sb-W-Bi-Cr	Ni-Cd-Mo-Co-Hg-Mn	Ge-V-Sn-Ti
	2	Cu	Ag-Pb	Cr-Zn	Sb-Mo-Mo-Ni-Bi	Cd-Hg-Co-Sn-W-Mn	B-Ge-V-Sr-Ti
	3	Pb	-	W	Sb-Mo-Bi	Zn-B-Cu-Ge-Ga-Co-Ag	Cd-Sn-Ni-Ti
ВНИИИС	1	-	Cu-Sn-B	Hg	W-Bi-Zn	Mo-Pb-Sb	Cd-Ge-Ag-As-Co
	2	W	Zn	Pb-Ag-Cu-Sn	Ge-Hg-Co-Bi	Cd-B-Cr-Ni-Sb-Mn	V
	3	-	W-Cd	Pb-Zn-Hg-Ni	Co-Cu-Bi-Mo-Sb	Cr-Ag-Nb	Ge-B
Кабельный	2	Cu-Sn	Pb-Sb	Zn	Ag-Bi-W	Mo-Hg-Cr-Ni	Ba
	3	-	Cu-Pb-W-Sn	Sb	Bi-Zn-Ag	Hg-Mo	Cd-Ge-Co-B-Cr-Ba
Электровыпрямитель	1	-	-	Cd-Cu-Mo	Cr-Pb-Co-Ni	Ag-Zn	Mn
	3	-	-	Pb-Mo-Zn-Cd	-	Cu-Cr	Co
ОЗСЭ	1	Cd	-	Pb-Mo	-	Cr-Ni-Cu-Zn-Ag	Co
	3	Ag	Mo	-	Cd-Zn-Pb	Cu-Cr	Ni-Co
ЗССП	1	-	-	-	Cd-Ag	Ni-Cu-Zn-Mo-Cr	Pb-Co
	3	Ag	-	-	Cu	Co-Cr	Ni
ЗППИ	1	Sb-Zn	Ag	Pb	Cu	Ni-Cr-Cd-Bi	Cr-Hg-Sn-Co
	2	-	Pb	Cd	Zn-Cu	Cr	Ni-Co
	3	-	Zn	Cu	Pb-Cr-Ni-Cd-Co	-	-
Приборостроительный	1	W-Co-Cu-Ni-Mo	Cr	Sn-Ag-Zn-Pb	V-B-Hg	Ge	Mn
	2	W	Mo	Co-Cu-Cr-Pb-Zn	Ni-Ag-B-Sn	Bi-V	Ti-Mn-Ge
	3	W	Cd-Co-Zn	Pb-Cu-Cr	Sn-Bi-Ag-Ni-Mo-Hg	B	Sb-V
Инструментальный	1	-	-	Pb-Mo-Cu	Ni-W-Sn-Cr	Cd-Co-Sb-Ag	Bi-Ge-As
	3	-	-	Cd-Pb-Zn	Cu	Cr-Co	Ni-Mn

Завод	Пыль	<i>K<sub>c</sub></i> относительно фонового содержания в почвах					
		> 300	300-100	100-30	30-10	10-3	3-1,5
Меха-	1	Cu	Mo	W	Cr-Sb-Mn-Pb-B-Co-Cd-Ag-Cu	Zn-Hg-As-Sb	Bi
ниче-ский	2	Bi-Cu-W-Zn	Pb	As-Sn	B-Mo-Cr	Ni-V-Co	Mn-Ba-Hg
	3	-	-	W	Cu-Pb-Zn	Mo-Bi-Sn-HgSb	Cd-Ag-As-Cr-B-
Автоса-мосвал	1	Pb	-	Cd	Zn-Cr-Cu-W	Hg-Bi-Mn-Sb	Ni-Co-Sn-Mo-Ti
	3	-	-	Pb	Cu-Hg-Mn	Zn-W-Ni-Co-Sn-Mo-Sb-Ag	Cr-Cd
ТВРЭ	1	Mo-Bi	Cu-Cd-W	Co-Ni-Cr	Zn-Pb-Sn-Hg	V-Ba-Sb	Mn-B-As
	2	Pb	W-Bi	Sn-Cd-Zn-Cu-Ba	Cr-B-	Mo-Hg-Sb-Ag	Co-Ni-Mn-Y
	3	-	-	Pb	Cu-Zn	Cd-Mn-Cr	Ni-Co
Медобо-рудов	1	W-Mo-Cr-Cu	-	V-Zn-Bi-Ni	Co-B-Sn-Pb-Cd	Hg-Ag-Ge	Mn
АРЭ	1	-	Pb	W	Mn-Mo	Co-Cu-Cr-Hg-Sn	Ge-Ag-Zn
	2	-	Ag	Pb-Mo-Cu	W-Cr-Ni-Co-B-Zn-Cd-Sn-Nb	Ge-Bi-Mn	Hg-Ga
	3	Pb-W-Cu	Sn	Ag-Zn	Mo-Co-Mn-Ni	Hg-B-Sb	V-Bi
ЖБК	1	-	-	-	-	Hg-Cu-W	Pb-Sn-Ag-Cr-Mo
	2	-	-	Zn	Bi-Ag	Hg-Cu-Pb-As-Sb	Cd-W-Cr-Mo-Mn-Co
КПД	1	-	-	-	W	Cd-Pb-Bi-Cr-Sb	Cu-Mo-Zn-Ag-B
	2	-	-	-	Pb-Cu	Sb-Zn-Bi-Hg-Ge-W	Cd-Cr-Sn-Sr-V-Ba-As-Ag
Кера-мик	1	-	-	-	Cd	Bi-Sb	Ge-W-Co-Pb-Zn-Ni
	3	-	W	Pb	Cu-Zn-Bi	Mo-Sb-Sn-Cr-B	Cd-Co-Ag
КТИМ	2	-	-	-	Zn-Ag-Cu-Pb	Bi-Hg-W-V	Sb-B-Mo-Mn
	3	-	-	Zn	-	Cd-Pb-Sb-Hg-Ag	Cu-B-W-Bi-Ni-V-Cr-Mn-Mo
Био-химик	1	-	-	Pb-Cu	Cd-Zn-Sn	Ag-Bi-Mo-Sb	W-Co-B-Cr
	2	-	-	Zn-W-Mo-Pb	Cu-B	Cd-Hg-Bi-Sb	Cr-Sn-Ni-Ag
	3	-	-	-	-	Cd-Zn-Bi-Pb-Hg-Sb	B-Mo-Cu-Ag

Окончание табл 25.

Завод	Пыль	<i>K<sub>c</sub></i> относительно фонового содержания в почвах					
		> 300	300-100	100-30	30-10	10-3	3-1,5
Пиво- безалко- гольных напитков	1	-	-	-	-	-	Zn-Ge-Ag-W Ti
	2	-	Ag	Pb-Cr-W-Cu	Sn-Ni-Zn-Nb-Bi-Cd- Mo	V-Co-B	
	3	-	-	-	Bi	Zn-Mo-Cd-Cu-B-Pb-Co	Hg-Ag
Консер- вный	2	Pb-Zn	Bi	Ag-Cd-Sb-W-Sn	Cu	Ni-Cr	Mo-Hg-B
	3	-	Pb	Ag-Zn	Cu	Cd-Cr	Ni
Хладо- комбинат	3	-	-	-	Hg	Ga-Zn-Cd-Ag-Bi-Pb-Sb	B-Cu
Мясо- комбинат	3	-	-	Zn	Pb	Cu-Ni	Cd-Ag
Строй- транс	3	-	-	Pb	Cd-Co-Zn	Cu	Cr-Ag
АТП-1	3	-	-	Pb	Hg-Cd	Sn-Sb-Bi-Zn-Cu	B-Ag
АК-1185	3	Pb-Cd-Ag	Cu-Zn	Hg	-	Nb-Sb-Bi	Sn-Cr-Ni
ГБК	3	-	-	Zn	Pb	Cd	Cu
Центро- лит	1	-	-	Pb	Cu	Cd-Sb-Zn-Ag	Bi-Mo-Sn-Ni-W-Cr-Ge
	2	-	-	-	Pb-Cu	W-Cd-Zn-Bi-Hg	Sn-Mo-Ni-Ag-Co-Cr-B-Mn
	3	-	-	-	W-Bi-Mo	Pb-Cu-Cr-Hg-Ni-Sb	Cd-Sn-Ag-Zn-B-Co
Резино- техника	1	Zn	-	Pb	Cd-Hg-Ba	Ni-Cu-Cr-Co-Sb	Ge-Bi
	3	-	-	Zn-Cu-Ag	Pb-Ni	W-Cd-Bi-Sn-Hg-Sb	Co-Cr-Mo-B
Типо- гра- фия	1	Pb	Sb-Ag-Sn	-	Hg-Zn	Cd-Cu-Bi	Ge-Cr-Ni
	2	-	Ag-Pb	Cu	-	Zn-Cd-Mo	
	3	Zn-Pb	Ag	-	Cu-Cd	Cr-Mn-Ni	Co
Котель- ная	1	-	-	Nb	Pb-Sb-Zn-W	Cu-Cd-Ni-Cr-Mo-Sn-Hg	V-Co-B-Bi
	3	-	-	-	Pb	Zn-Cd-Cu	Ni-Co-Cr

Наиболее интенсивно в пыли практически всех предприятий концентрируются тяжелые металлы (Pb, Hg, Cd, Cu, Zn, Sb, Mo, W, Sn, Ag, Cr, Bi), но особенно на заводах, где осуществляется обработка и покрытие различных металлов, пайка, травление (электротехническое производство, приборостроение, электроника), окраска изделий (АРЗ, ТВЗ, автосамосвалов и др.) и т. д. Как правило, наиболее широким кругом интенсивно концентрирующихся химических элементов ( $K_C \gg 100$ ) закономерно отличается технологическая пыль, т. е. пыль, образующаяся в ходе основных производственных операций. В целом для пыли всех промышленных предприятий города наиболее чаще в этой группе элементов встречаются Cu, Pb, Mo, W, реже Cd, Sb, Zn, Cr, В, Ag, в пыли некоторых предприятий - Co, Ni, Bi, Sn, Hg, Nb. В технологической пыли и пылесметах комплекс наиболее интенсивно количество элементов, обладающих значениями  $K_C \gg 100$ , заметно меньше. В первом случае наиболее чаще встречаются Pb, Ag, Zn, W, реже - Cu, Bi, Mo, Sb; во втором - Pb, W, Cd, Cu, Ag, Zn, а также Sn, Mo, Co. В целом для города в различных разновидностях промышленной пыли наиболее чаще экстремально высокие концентрации характерны для Pb, Cu, W, Cd, Zn, Ag, Mo. Можно предположить, что именно эти металлы в наибольшем количестве поступают в среду обитания. Необходимо отметить, что вентиляционная пыль и пылесметы некоторых предприятий (АРЗ, ЖБК, КПД) характеризуются более разнообразным качественным составом геохимических ассоциаций, нежели технологическая. На других заводах многие элементы наиболее интенсивно концентрируются не в технологической пыли, а в пылесметах и вентиляционной пыли. Например, на заводе СЭЛЗ максимальные концентрации Cu, Zn, Pb наблюдаются в пылесметах; на заводе СИС-ЭВС самые высокие содержания Cr, Ni, Zn, Mo, Sn, Ba обнаруживаются в вентиляционной пыли. Аналогичные факты для некоторых химических элементов установлены и для других заводов.

Естественно, что масса поступающих в среду обитания поллютантов зависит не только от уровней их содержания в промышленной пыли, но и от объема пылевых выбросов. Как было показано [53], в связи с вариацией состава пыли в выбросах предприятий следует учитывать возможность появления двух принципиально различных типов нагрузки химических элементов, поступающих из атмосферы на земную поверхность: 1) высокая нагрузка, формируемая в результате выпадения больших масс пыли с фоновыми или близкими к ним содержаниями химических элементов; 2) высокая нагрузка, образуемая выпадениями пыли с высокими концентрациями химических элементов. Для целого ряда предприятий г. Саранска характерен относительно небольшой по массе пылевой выброс. Тем не менее высокие содержания в промышленной пыли химических элементов определяют достаточно высокую техногенную нагрузку на городскую среду и способствуют формированию в ней

техногенных геохимических аномалий (в воздухе, снеговом покрове, почвах). Например, только с организованным пылевым выбросом завода СЭЛЗ в городскую среду ежегодно поступает более 3 т различных металлов, завода СИС-ЭВС - около 8 т металлов. На заводе СЭЛЗ не менее 11 т металлов остается в уловленной очистными установками пыли, которая в течение многих лет вывозится на городскую свалку. Необходимо добавить, что значимое количество поллютантов поступает в окружающую среду с неорганизованными выбросами (с вентиляционной пылью), что имеет особое значение для формирования локальных зон загрязнения (особенно в пределах промышленных площадок). В свою очередь, высокие содержания химических элементов в пылесметах и в вентиляционной пыли указывают на то, что рабочие и служащие заводов постоянно подвергаются воздействию широкой группы поллютантов. Наличие в производственных цехах и служебных помещениях пыли (независимо от ее количества), обогащенной тяжелыми металлами, не исключает вероятность их переноса рабочими на обуви и одежде в жилые помещения и общественные здания.

Характерной особенностью химического состава промышленной пыли является выраженная неоднородность распределения многих химических элементов в пробах, отобранных в разных цехах и помещениях одного и того же завода, когда уровни содержаний конкретного элемента могут различать на 1-2 порядка (табл. 26-29). Это обусловлено спецификой образования пыли в результате тех или иных производственных процессов и операций, в существенной мере определяющих ее макросостав. При этом наиболее резко указанная неоднородность выражена для ведущих элементов геохимической ассоциации, но, как правило, фиксируется она на фоне их высоких концентрации, когда наблюдаемые минимальные уровни значительно превышают содержания в природных почвах. Это особенно типично для пыли заводов электротехнического, приборостроительного, электронного профиля, металлообработки. В общем случае отмеченная неоднородность распределения химических элементов характерна для пыли крупных заводов, где существуют разнообразные производства и технологические операции.

В существенной мере интенсивность концентрирования химических элементов, особенно тяжелых металлов, контролируется макросоставом пыли. Прежде всего, на предприятиях, где применяются процессы металлообработки, обычно фиксируется прямая связь более высоких концентраций многих металлов в технологической пыли с обогащенностью ее железом. На некоторых заводах связь содержания железа с концентрациями других металлов, накапливающихся в пыли, более сложная. Например, на заводе Резинотехника пробы технологической пыли, обогащенные железом, отличаются особенно высокими концентрациями Cr, Ni и Co (как известно, по классификации А.Н. Заварицкого входящих в

группу геохимически близких элементов железа), пробы, содержащие меньше железа, обогащены Pb и Cu (металлическими элементами Зава-рицкого).

Таблица 26. Химические элементы в технологической пыли разных цехов промышленных предприятий, мг/кг

Эле-мент	КПД, цех			СЭЛЗ, цех		Типография, цех	
	Керам-зитовый гравий	Бетосме-ситель-ный-1	Бетоносме-сительный-2	№ 8	№ 14	Высокой печати	Лино-типный
Cr	90	230	300	30	160	60	160
Mn	340	340	370	8500	410	77	1200
Co	13	2	10	2	10	8	12
Ni	45	35	49	31	80	56	91
Cu	30	75	140	290	470	320	150
Zn	190	370	190	2200	1400	450	1700
Ag	-	-	-	-	-	20	1
Cd	< 1	12	1	3600	73	-	-
Hg	0,15	0,035	0,09	12	0,08	-	-
Pb	40	80	180	2000	320	157000	9800

Таблица 27. Химические элементы в технологической пыли разных цехов промышленных предприятий, мг/кг

Эле-мент	ЗППИ, цех		Инструментальный, цех	
	№ 12	№ 18	Кузнечный	Циклон
Cr	50	390	900	840
Mn	1200	640	1300	1600
Co	16	32	47	63
Ni	150	770	620	840
Cu	370	890	900	1400
Zn	260	122000	65	58
Ag	-	-	-	-
Cd	1	5	-	-
Hg	-	-	0,04	0,05
Pb	80	1300	100	1900

Таблица 28. Химические элементы в вентиляционной пыли разных цехов промышленных предприятий, мг/кг

Эле-мент	СЭЛЗ, цех			ТВРЗ, цех		
	Инструмен-тальный	Столяр-ный	Обработки доломита	№ 1	Окраски	Ремонтно-механический
Cr	50	50	20	50	6800	190
Mn	150	290	130	100	670	1800
Co	3	2	3	3	39	8
Ni	20	65	24	31	40	98
Cu	100	120	61	980	140	420
Zn	560	710	220	2000	8000	780
Cd	-	-	2	53	27	1
Pb	-	-	-	120	51700	410



Таблица 29. Химические элементы в вентиляционной пыли разных цехов промышленных предприятий, мг/кг

Элемент	КПД, цех		Механический	
	Керамзитовый гравий	Бетономесительный-1	Заточный станок	Агрегатная станция
Cr	70	275	1700	80
Mn	425	300	2500	4600
Co	12	3	51	20
Ni	55	32	750	90
Cu	570	110	226800	40600
Zn	620	380	154000	1000
Cd	-	-	27	1
Pb	180	320	4200	90

В технологической пыли типографии в обогащенных железом пробах содержатся минимальные концентрации Pb и Ag, но максимальные количества других элементов, и наоборот. Для пыли таких предприятий, как ЗППИ, которым свойственны небольшие объемы пылевывбросов, видимой связи между уровнями содержания железа и других металлов не наблюдается, что во многом связано с более «чистым» режимом функционирования производственных помещений. Распределение ртути в вентиляционной пыли также не зависит от количества железа в последней. На некоторых предприятиях. Как отмечалось, это может быть обусловлено своеобразием ее источников поставки в производственную среду (вышедшие из строя приборы и т. д. В вентиляционной пыли практически всех заводов минимальные концентрации многих химических элементов (особенно тяжелых металлов) фиксируются в пробах, обогащенных СаО и MgO (т. е. в данном случае пыль, судя по всему, имеет в большей степени литогенную основу), а максимальные концентрации металлов тяготеют к пробам, обедненным указанными оксидами и, как правило, обогащенных железом. В вентиляционной пыли тепловозоремонтного завода указанные связи не наблюдаются, что, видимо, связано со спецификой поступления металлов в воздух (сварка, окраска).

### **Формы металлов в промышленной пыли**

При использовании на промышленных предприятиях масштабных высокотемпературных процессов (например, плавка металлов, литье, варка стекла и т. д.) обычно в составе выбрасываемой в атмосферу пыли преобладают оксиды металлов. Например, в составе пылевых выбросов металлургических предприятий доминируют оксиды железа, алюминия, кальция и магния, а также силикаты [1]. Тем не менее формы нахождения химических элементов в пылевых выбросах таких предприятий могут

быть достаточно разнообразными. Так, в аэрозольных выбросах пирометаллургических производств химические элементы находились в металлической форме, в виде сульфидов, сульфатов, оксидов, силикатов, ферритов, арсенатов, антимонатов [66]. Как правило, металлосодержащие частицы имеют микронные размеры, что облегчает их последующие физико-химические превращения и сепарацию в атмосферном воздухе и при осаждении на подстилающую поверхность. В пылевых выбросах металлургических предприятий основная масса Fe, судя по всему, чаще всего фиксируется преобладающим по массе гематитом, а также магнетитом, ферритом кальция и пиритом [63]. Некоторые тяжелые металлы (например, свинец и цинк) могут быть связаны с карбонатами и/или сорбироваться на тонких частицах кокса. В то же время, как свидетельствуют данные, фазовый состав химических элементов в пылевых выбросах предприятий цветной металлургии достаточно однотипен и представлен преимущественно оксидами. Например, в пыли завода по выплавке свинца и цинка преобладали оксиды кадмия (свыше 50%) [42]. Количество сульфидов и водорастворимых соединений тяжелых металлов было сравнительно невелико (табл. 30). По данным [42], в составе пыли выбрасываемой в атмосферу предприятием по выплавке Pb и Zn, преобладали оксиды металлов (свыше 50%). На долю водорастворимой формы Zn и Cd приходилось 6-7%, водорастворимый Pb отсутствовал.

Таблица 30. Фазовый состав соединений металлов в пыли, взятой с фильтров тонкой очистки свинцового завода (Горбатов, 1983, цит. по [46])

Соединения металлов	Цинк		Кадмий		Свинец	
	мг/г	%	мг/г	%	мг/г	%
Валовое содержание	232	100	21,6	100	335	100
В составе:						
Оксидов	200	86,2	15,4	71,3	295	88,0
Сульфатов	18	7,8	0,4	1,8	29	8,7
Водорастворимой фракции	3	1,3	5,8	26,9	0	0
Неопределенный остаток	11	4,7	0	0	11	3,3

В технологической пыли большинства предприятий г. Саранска относительная доля подвижных форм многих химических элементов, извлекаемых ацетатно-аммонийной вытяжкой, невелика и составляет обычно первые проценты (табл. 31-33). Тем не менее, например, в технологической пыли авторемонтного завода фиксируется высокая доля подвижных форм Cd (72%), Pb (26%), Zn (около 19%), в пыли завода медицинского оборудования - Zn (около 33%) и Cd (более 29%), в пыли завода по производству пивобезалкогольных напитков - Pb (30%) и Ni (15%). В вентиляционной пыли относительная доля подвижных форм некоторых металлов уже заметно возрастает. В частности, характерны высокие содержания подвижных форм Cd, Pb и Zn для пыли завода СИС-ЭВС.

Можно предположить, что заметная доля металлов, концентрирующихся в технологической пыли обследованных предприятий, представлена относительно устойчивыми образованиями - оксидами (Центролит, СИС-ЭВС, кабельный), тонкодисперсными металлическими и абразивными частицами (инструментальный, механический, автосамосвалов, АРЗ, автотранспортные предприятия), связана с пылью люминофоров (СЭЛЗ, СИС-ЭВС), входит в состав силикатов и карбонатов (производство строительных материалов и т. д.).

Таблица 31. Подвижные формы элементов в технологической (1) и вентиляционной (2) пыли заводов СИС-ЭВС и АРЗ

Элемент	Вал, мг/кг		Ацетатно-аммонийная вытяжка, мг/кг		Доля от вала, извлекаемая вытяжкой, %	
	1	2	1	2	1	2
Специальных источников света и электровакуумного стекла						
Cu	5300	85	2,86	9,2	0,05	10,8
Co	31	-	2	-	6,45	-
Ni	260	31	16,2	1,2	6,23	3,9
Zn	3200	460	89,2	271	2,79	58,9
Mn	1000	660	104,4	16,6	10,44	4,8
Fe	291000	12300	15155	87,2	5,21	0,71
Cr	190	92	4,05	16,6	2,13	18
Ag	-	9	-	0,02	-	0,22
Cd	-	3	-	2,78	-	92,6
Pb	-	1200	-	690	-	57,5
CaO	4500	87000	870,4	24920	19,34	28,64
MgO	1000	47400	58,4	643,8	5,84	1,36
Авторемонтный						
Cu	7600	1300	2,9	30,6	0,04	2,35
Co	1300	100	25	12,8	1,92	12,80
Ni	1500	4600	43,7	30	2,91	0,65
Zn	2300	1600	430,6	556,8	18,72	34,80
Mn	2400	11600	174,7	1112	7,28	9,59
Fe	303000	190000	14540	3318	0,05	1,75
Cr	3600	2000	59,5	6,91	1,65	0,35
Mo	1400	-	12,5	-	0,89	-
Ag	-	17	-	0,04	-	0,24
Cd	1	4	0,72	2,45	72	61,25
Pb	1200	3300	312	434	26	13,15
CaO	10100	28300	1771	8809	17,54	31,13
MgO	4500	7900	108,4	644,8	2,41	8,16

Данные по характеристике промышленной пыли (см. табл. 15), образующейся на обследованных предприятиях г. Саранска, свидетельствуют о том, что определенное количество содержащихся в ней химических элементов может присутствовать в виде сорбционных, карбонатных, обменных, сульфатных соединений (из-за наличия в пыли различных сорбентов, широкого использования доломита, цемента, извести на ряде

заводов). Использование красок, эмалей и различных пигментов также должно способствовать формированию относительно подвижных форм нахождения элементов в аэрозолях твердых частиц. Все это увеличивает экотоксикологическую опасность пыли (как в условиях производства, так и в окружающей среде), а также определяет потенциальную возможность активного преобразования таких соединений химических элементов в ходе миграционных процессов в атмосфере и при последующем осаждении на подстилающие поверхности.

Таблица 32. Подвижные формы химических элементов в технологической пыли

Элемент	Вал, мг/кг	Ацетатно-аммонийная вытяжка, мг/кг	Доля от вала, извлекаемая вытяжкой, %
Завод медицинского оборудования			
Cu	13300	0,80	0,01
Co	160	3,60	2,25
Ni	1800	16,9	0,94
Zn	3000	983,8	32,79
Mn	1800	150	8,33
Fe	292000	16185	5,54
Cr	5700	35	0,61
Mo	1500	8,5	0,57
Cd	5	1,47	29,4
Pb	160	4,1	2,56
CaO	4100	519,2	12,66
MgO	2800	83,4	2,94
Завод по производству пивобезалкогольных напитков			
Cu	23	1,19	5,17
Ni	2	0,3	15
Zn	200	21,4	10,7
Mn	100	12,9	12,9
Fe	1400	23,2	1,66
Cr	7,3	0,81	11,1
Pb	3	0,9	30
CaO	108000	1417	1,31

Таблица 33. Подвижные формы химических элементов в вентиляционной пыли завода железобетонных конструкций

Элемент	Вал, мг/кг	Ацетатно-аммонийная вытяжка, мг/кг	Доля от вала, извлекаемая вытяжкой, %
Cu	220	3,3	1,5
Co	23	0,4	1,74
Ni	49	1,25	2,55
Zn	4000	891,8	22,3
Mn	2100	383,9	18,28
Fe	41600	254,8	0,61
Cr	150	2,52	1,68
Pb	50	4,5	9
CaO	182000	75320	41,39
MgO	64300	912,2	1,42

## **Промышленная пыль и формирование зон техногенного загрязнения**

Промышленная пыль, обогащенная токсичными элементами, представляет собой непосредственную угрозу для живых организмов. Ее поступление в атмосферу предопределяет высокий уровень техногенного загрязнения городской среды. Осаждение промышленной пыли на подстилающую поверхность приводит к изменению физико-химических характеристик городских почв и к формированию в них техногенных геохимических аномалий, пространственно отражающих устойчивые зоны техногенного загрязнения. Кроме того, пыль, осажденная с атмосферными осадками и содержащая широкий комплекс химических элементов, в составе талого и дождевого стока поступает в водные объекты. В ходе миграции и последующего осаждения пыли происходит изменение форм нахождения связанных с ней химических элементов.

### ***Особенности поведения пыли и связанных с ней поллютантов в городской среде***

Распространение поллютантов в атмосфере от источника их поставки (например, завода) по направлению ветра является начальным этапом процесса загрязнения атмосферного воздуха. По мнению Э. Робинсона [19], существует несколько стадий развития данного процесса, которые совместно составляют атмосферный цикл. С этой точки зрения, считает автор цитируемой работы, важными являются следующие явления:

- 1) начальное разбавление загрязняющих веществ во время их подъема в слой воздуха, в котором осуществляется их адвекция, что в существенной мере зависит от характеристик источника эмиссии;
- 2) разбавление за счет процессов турбулентной диффузии при переносе непосредственно в районе расположения источника;
- 3) дальний перенос поллютантов от источника в массу воздуха и разбавление воздушной массы за счет процессов турбулентной диффузии и эффектов ветрового сдвига между слоями загрязненного воздуха;
- 4) реакции загрязняющих веществ в атмосфере, приводящие к образованию вторичного загрязнения и увеличению концентрации поллютантов в атмосфере;
- 5) процессы выведения загрязняющих веществ из атмосферы, приводящие к ускорению образования атмосферных осадков, химические

реакции в атмосферных каплях, механизмы поступления (осаждения) загрязнителей на подстилающую поверхность;

б) сухое выпадение, химическая трансформация загрязнителей во время их переноса к поверхности Земли.

В общем случае поступление, перенос, время пребывания пыли в атмосфере и особенности осаждения ее на подстилающие поверхности в значительной степени зависят от размеров и плотности пылевых частиц, способов их поступления в среду обитания (в том числе, от высоты заводских труб), а также от скорости и характера перемещения воздушных потоков (воздушной циркуляции). Важную роль в распространении загрязнителей в атмосферном воздухе играют физические характеристики источника их поставки. Любое промышленное предприятие с этой точки зрения может рассматриваться в качестве точечного источника загрязнения. В данном случае существуют две проблемы, обусловленные особенностями его территории [20]. Первая - низкая скорость эмиссии загрязнителей может привести к опусканию выброса (факела) за трубой, что в существенной мере связано с образованием воздушных вихрей и формированием турбулентности. Вторая - малая высота трубы или опускание факела может приводить к тому, что загрязняющие вещества будут циркулировать в воздушных вихрях с подветренной стороны зданий и определять относительно высокие концентрации у поверхности Земли. Таким образом, размеры зон загрязнения определяются как концентрацией твердых частиц в выбросах, так и высотой заводских труб. Кроме того, большое значение имеют характер подстилающей поверхности (наличие или отсутствие растительности, непроницаемых покрытий и т. д.) и условия, в которых происходит начальная трансформация химического состава пыли (интенсивность дождей, продолжительность периода устойчивого снегового покрова, особенности его таяния и т. д.).

Естественно, что особенно высокой реакционной способностью в атмосфере обладают разнообразные газы (диоксид серы, оксиды азота, некоторые соединения фтора, углеводороды). Мелкодисперсные пылевые частицы обычно характеризуются как более консервативные. Тем не менее химические реакции, протекающие в атмосфере, могут оказывать активное влияние на физико-химическое преобразование пыли. Многие загрязнители способны растворяться в облачных каплях в процессе образования облаков (так называемое облачное вымывание, которое наиболее эффективно при дальнем переносе загрязняющих веществ, когда они могут попадать в высокие слои атмосферы). Другим типом выведения химических элементов из атмосферы является процесс подоблачного вымывания, при котором дождевые капли, захватывают и соосаждают загрязнители на подстилающую поверхность. Значительные количества пыли соосаждается со снегом. В отсутствие мокрых осадков загрязнители выводятся в результате сухого осаждения [19, 90].

Скорость и дальность переноса частиц пыли в значительной степени обуславливаются характером турбулентности воздуха и существующего во время эмиссии поллютантов ветрового поля (характер турбулентности, стратификация и т. п.). Для распределения пыли в атмосфере и ее осаждения имеют значение местные ядрообразующие процессы, усиление деятельности которых в утренние и дневные часы ведет к увеличению концентрации атмосферных ядер [15]. Однако одновременно усиливающийся турбулентный обмен вызывает перенос ядер в более высокие слои атмосферы, в связи с чем рост числа ядер в приземном слое воздуха замедляется, достигает максимума (утреннего) и затем переходит в падение; минимум числа ядер имеет место в дневное время (около 16 час.), когда интенсивность турбулентного обмена максимальна. Ослабление обмена к концу второй половины дня ведет к скоплению ядер конденсации в приземном слое воздуха, обуславливающему вечерний максимум в суточном ходе их количества, что может сопровождаться активным осаждением атмосферной взвеси на подстилающие поверхности. Ночной минимум связан, по-видимому, с общим ослаблением местных ядрообразующих процессов в это время. В солнечные дни абсолютное число ядер конденсации оказывается большим, чем в пасмурные дни. Моделирование процессов переноса почвенного аэрозоля в конвективном пограничном слое атмосфере показывает, что его перенос в приземной слое атмосферного воздуха в существенной мере определяется процессом сальтации [30]. Это свидетельствует о возможности вторичного загрязнения приземного слоя воздуха частицами почвы, обогащенных различными поллютантами.

Размер частиц пыли рассматривается в качестве важнейшего параметра, который в существенной мере определяет их поведение в атмосфере. Обобщение литературных данных, выполненное Н.Ф. Глазовским и соавт. [11], показывает, что в составе присутствующих в атмосферном воздухе твердых частиц заметно преобладают (по массе) частицы размером 10-100 мкм (около 60%), доля частиц размером менее 2,5 мкм составляет в среднем около 10%, частиц размером 100-1000 мкм - несколько меньше, частиц менее 1 мкм - не больше 5% от общей массы атмосферной взвеси. Существенная масса аэрозольного вещества может быть связана с частицами размером 0,1-1 мкм [5]. Эти частицы, скорее всего, образуются при конденсации и коагуляции. Необходимо отметить, что в ходе многих производственных процессов создаются такие скорости перемещения воздуха, при которых в движение приходят частицы, обладающими существенными диаметрами (гигантские частицы Х. Юнге [72] и даже крупнее). К тому же, в более плотной атмосфере с развитой турбулентностью частицы крупнее 40-60 мкм обычно ведут себя как типичные аэрозольные [44]. Известно, что независимо от происхождения эти частицы имеют достаточно высокую скорость оседания [5]. Возможно,

что именно с ними в значительной мере связано формирование геохимических аномалий в городских почвах, особенно в пределах и вблизи промышленных зон. В этом процессе особую роль играет поступление вентиляционной пыли.

При выходе в атмосферу пылевых выбросов начинается их сепарация, когда более крупные и тяжелые частицы пыли осаждаются вблизи источника. Разделение частиц по размеру и удельной массе нередко означает также и их сепарацию по химическому составу. Обычно частицы диаметром более 20 мкм достаточно быстро выпадают из атмосферы на подстилающую поверхность. Их осаждение происходит гравиметрически и описывается законом Стокса. Как правило, такие частицы оседают в течение нескольких часов или суток, но за это время они могут переноситься на значительные расстояния. Известно, например, что частицы пыли диаметром порядка 12 мкм, формирующиеся в пределах Сахары, обнаруживались на юге США, в Центральной и Латинской Америке [65]. Частицы, средний диаметр которых равен 10-20 мкм, обычно остаются в атмосфере 1-2 дня перед тем, как поступить на подстилающую поверхность в виде сухих выпадений или с атмосферными осадками. В тропосфере они способны находиться до 5 дней и за это время могут под действием ветра переместиться на 300-350 км [21]. Частицы размером от 1 до 10 мкм, как правило, остаются во взвешенном состоянии в течение нескольких суток. Частицы размером менее 1 мкм в диаметре довольно сходны в своем поведении с газами и в значительно меньшей степени подвержены действию атмосферных осадков; время их пребывания в нижних слоях атмосферы обычно составляет 10-20 дней, а в стратосфере от 1 до 5 лет - достаточно долго, чтобы мигрировать на значительные расстояния, претерпевая определенную модификацию. Значение диаметра в 0,1 мкм является пределом, ниже которого осаждение невозможно из-за броуновского движения, скорость которого начинает превышать скорость осаждения. Тем не менее такие частицы оказываются в почве благодаря осадкам и электростатическим явлениям, при определенных условиях приводящих к их укрупнению. Судя по всему, наиболее существенным для тонких частиц являются процессы сухого выпадения, которые определяются коэффициентом выпадения (скоростью осаждения), представляющим собой отношение потока поллютанта к земной поверхности к его концентрации в пограничном слое атмосферы непосредственно над подстилающей поверхностью [90]. Сухое осаждение происходит главным образом вследствие того, что в непосредственной близости к поверхности находится тонкий слой воздуха толщиной 10-100 мкм, который практически неподвижен. Проникающие в него частицы вследствие броуновского движения входят в контакт и взаимодействие с подстилающей поверхностью (почвой, растительностью и т. д.) и в результате разнообразных химических реакций, физической или химической сорбции, гравиметрического осаж-



дения, налипания на твердые предметы выводятся из указанного пограничного слоя.

Химические элементы, связанные с атмосферной пылью, по-разному распределяются в гранулометрическом спектре несущих частиц и могут быть закреплены в них в разнообразных формах (рис. 3, 4).

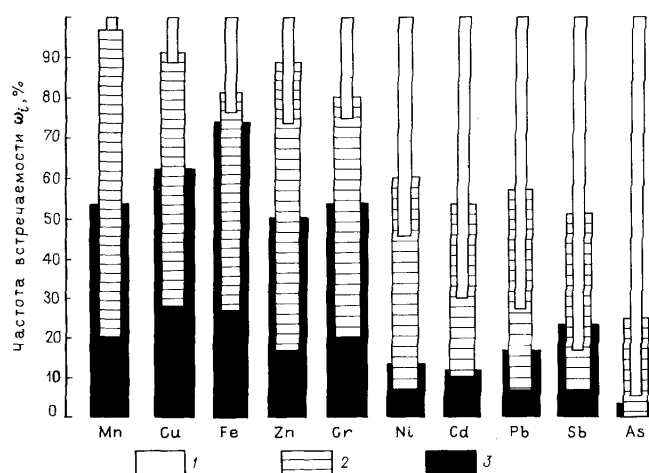


Рис. 3. Распределение химических элементов по размерам атмосферных частиц [53]  
1 - менее 0,05 мкм, 2 - 0,05-2 мкм, 3 - более 2 мкм

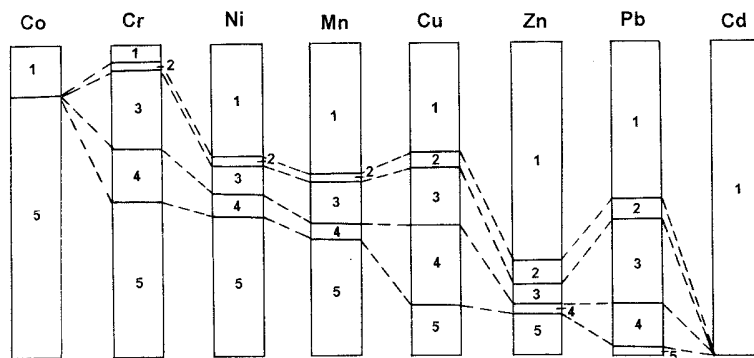


Рис. 4. Формы нахождения металлов в твердых атмосферных частицах [104a]

Формы: 1 - обменная, 2 - адсорбированные на поверхности оксидов и карбонатов, 3 - связанные с оксидами железа и марганца, 4 - связанные с органическим веществом, 5 - остаток

Исследования, выполненные в восточной части г. Щелково (Московская область), показали, что в осевшей на коре и ветках древесной растительности пыли присутствуют разнообразные минеральные фазы [32]. В составе пыли преобладали карбонаты, слоистые алюмосиликаты, остроугольные обломки кварца, полевые шпаты. Авторы связывают это явление с влиянием выбросов карьера по добыче доломитового сырья и агломерационной фабрики по его переработке, которые, кроме того, поставляют в атмосферу пылевые частицы водорастворимых гипса, мирабилита, кианита и слаборастворимых сульфатов (аргентоярозит, бассонит). В районе карьера обнаружены также минералы шпинелевого ряда, частички фосфатов (группа апатита), минералы железа (ферриксигит, вюстит) и марганца (вернадит), рутила, циркона. В пределах промышленной зоны и очистных сооружений в пробах пыли с древесной растительности выявлены Zn-содержащие минералы - сфалерит и вюртцит, причем последний с признаками разрушения. Диагностированы также оксиды Ni, Co и Cd и обнаружены Cu и Pt в металлическом состоянии. Исследования взвешенных в атмосферном воздухе частиц в центре Лондона (всего изучено около 15 тыс. частиц) показали, что по морфологии они разделялись на 7 групп: биологические (споры, относительное количество 35,4%), сажистые (21%), неклассифицированные (13,8%), почвенная пыль (9,3%), карбонаты (7,3%), резина (7,1%), неорганическая летучая зола (6%) [100].

Результаты двухлетних исследований процессов сухих и влажных осадений в районе известного металлургического комплекса в Садбери показали, что большая часть твердых частиц вымывается из шлейфа выбросов дождем и снегом в радиусе 40 км [91, 92]. Выбросы предприятия обуславливали в среднем 70% общих влажных осадений Cu и Ni на удалении до 40 км и менее 20% осадения других металлов. Сухое осадение мало влияло на выведение поллютантов из атмосферного воздуха. В другом исследовании установлено, что не менее 30% пыли, выбрасываемой металлургическим заводом полного цикла, осаждалось в пределах его территории [28]. По данным Э.П. Махонько и соавт. [34], в радиусе 1 км от источника загрязнения в почве оседает 1-3% тяжелых металлов от их общего количества в выбросах. Доля осевшего на почву Zn в радиусе 10 км от цинкоплавильного завода не превышала 10% от его содержания в выбросах, т. е. основной поток металлов активно рассеивается в атмосфере. Изучение состава городской пыли в течение 4 сезонов показали его значительную временную изменчивость, однако химические элементы, связанные с общими источниками загрязнения имели сходный характер такой изменчивости [111].

При выпадении на почву пыли и аэрозолей твердых частиц, содержащиеся в них тяжелые металлы могут [19]: 1) сорбироваться частицами почвы; 2) осаждаться в виде нерастворимых соединений; 3) транс-

портироваться в насыщенном почвенном растворе в более глубокие почвенные горизонты; 4) десорбироваться и эмиттироваться в атмосферу; 5) подвергаться воздействию фауны почвы или микробов, приводящему к распаду химических соединений металлов; 6) поглощаться корнями растений. К этому необходимо добавить высокую вероятность включения частиц пыли и связанных с ними химических элементов в состав поверхностного (талого, дождевого, поливочного) стока с городских территорий, их перераспределение и миграцию в местные водоемы и водотоки.

Накопление тяжелых металлов в почвах во многом связано с тем, что существенное их количество поступает на подстилающую поверхность из атмосферы в форме достаточно труднорастворимых соединений. Это справедливо для зон влияния многих источников загрязнения (и для многих химических элементов). Как отмечалось выше, большое значение имеет также интенсивность пылевых выбросов. Как правило, размеры образующихся в городских почвах техногенных геохимических аномалий корреляционно связаны с количеством поступающей в атмосферу промышленной пыли, что особенно хорошо прослеживается в районах расположения одиночных источников загрязнения (табл. 34). Изучение распределения химических элементов в снеге показало, что на относительно удаленных от городов территориях в выпадениях из атмосферы преобладали растворенные формы металлов (табл. 35).

Таблица 34. Зависимость площадей техногенных геохимических аномалий в почвах от характеристик промышленного выброса [53]

Элемент	Выбросы		Площадь аномалий, общая, км <sup>2</sup>	Площадь аномалий в контуре $K_C^2$ (в км <sup>2</sup> )				
	P, т/год	$K_C^1$		1,5	3	10	30	100
Pb	12,6	383	24,2	11,2	9,5	2,1	0,8	0,6
Zn	7,4	112	12,3	8,6	2,7	0,7	0,3	0
Cu	2,1	62	6,6	4,4	0,9	0	0,2	0
Ni	0,7	30	0,6	0,6	0	0	0	0
Cr	1,1	19	0,4	0,4	0	0	0	0

Примечание. P - количество металла, поступившее с пылевым выбросом в атмосферу;  $K_C^1$  - коэффициент концентрации металла в промышленной пыли;  $K_C^2$  - коэффициент концентрации металла в почвах.

Таблица 35. Соотношение растворенных и взвешенных форм металлов в атмосферных выпадениях [53]

Район исследования	Пыль кг/км <sup>2</sup> /сут	Соотношение «раствор/взвесь». %			
		Cu	Zn	Pb	Cd
50 км от источника выбросов	17	77 (1)	79 (1)	82 (1)	95 (1)
10 км от источника выбросов	80	36 (0,5)	17 (2,5)	18 (6)	81 (2,2)
Завод цветных металлов	140	3,5 (100)	13 (20)	12 (160)	90 (22)
Крупная промзона	480	11 (18)	9 (10)	2 (40)	48 (25)

Примечание. В скобках приведен  $K_C$  по отношению к фону.

Близ источников загрязнения одновременно с увеличением общей массы осаждающейся пыли и степени концентрирования в ней металлов резко уменьшалась доля их растворенных форм. Общий уровень накопления в почвах поллютантов достаточно неплохо коррелирует с их суммарным содержанием в пылевых выпадениях из атмосферы (рис. 5). В то же время следует помнить, что для многих тяжелых металлов характерно присутствие в пыли и аэрозолях в подвижных формах и максимальное концентрирование в наиболее тонких фракциях (см. рис. 3, 4). В данном случае процессы их последующего закрепления и преобразования в почвах могут быть достаточно сложными.

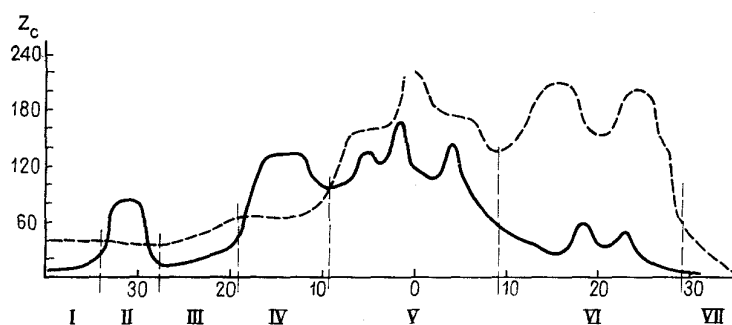


Рис. 5. Характерный геохимический профиль через крупную урбанизированную территорию [53]

I, III, VII - фоновые зоны; II, IV, V, VI - зоны техногенного загрязнения;  $Z_c$  - суммарный показатель загрязнения: сплошная линия - распределение его значений в выпадениях из атмосферы, пунктир - в почвах

В ряде исследований показаны особенности преобразования оксидов тяжелых металлов, присутствующих в осажденной на почвы промышленной пыли. Первый этап трансформации заключается во взаимодействии оксидов с почвенным раствором и его компонентами. Очевидно, что основным процессом, контролирующим уровень металлов в почвенных растворах, является адсорбция. Сложная конфигурация кривых кинетики трансформации оксидов тяжелых металлов в почвенных суспензиях объясняется сочетанием двух процессов - растворения оксидов и адсорбция почвой катионов металлов, образующихся при растворении оксидов. Следующим этапом трансформации после растворения неустойчивых оксидов, является ионообменная и специфическая адсорбция. Ионы тяжелых металлов способны специфически адсорбироваться почвами с образованием относительно прочных связей координационного типа с некоторыми поверхностными функциональными группами. Спе-

цифическая адсорбция происходит в плотной части двойного электрического слоя. Она более избирательна, чем неспецифическая, и зависит как от свойств сорбируемых ионов, так и от природы поверхностных функциональных групп, поэтому тяжелые металлы сильно адсорбируются почвами из растворов. В общем случае, процесс трансформации поступивших в почву техногенных металлов (например, Pb, Zn и Cd) можно представить следующим образом [42, 46]: 1) преобразование оксидов Pb и Cd в гидроксид (карбонат, гидрокарбонат) Pb и карбонат Cd; 2) растворение оксида Zn, гидроксида (карбоната, гидрокарбоната) Pb, карбоната Cd и адсорбция катионов тяжелых металлов твердыми фазами почв; 3) образование фосфатов тяжелых металлов. Трансформация соединений тяжелых металлов в почвах приводит к быстрому уменьшению водорастворимых фракций металлов, содержание которых возрастает с дозой внесения металла и существенно зависит от pH. В загрязненных почвах металлы претерпевают трансформационные изменения в зависимости от особенностей самого металла. Так, Cd связывается почвами преимущественно в обменной форме, Pb - в составе органического вещества, Zn - оксидами и гидроксидами железа. Различия в сорбирующей способности обусловлены присутствием в почвах специфически адсорбирующих тяжелых металлы компонентов (гумусовые вещества, соединения железа, карбонаты), а прочность связи с этими компонентами зависит от pH почвенного раствора. Таким образом, попавшие в почву металлы, прежде всего их мобильные формы, претерпевают различные трансформации. Один из основных процессов, влияющих на их судьбу в почвах, - это закрепление гумусовым веществом, что осуществляется путем образования металлами солей с органическими кислотами, адсорбции ионов на поверхности органических коллоидных систем или закомплексовывания их гумусовыми кислотами. Естественно, что во многих регионах для преобразования состава пыли и форм нахождения связанных с ней химических элементов большое значение имеет продолжительность периода существования устойчивого снегового покрова и характеристики весеннего снеготаяния.

### ***Техногенные геохимические аномалии в городских почвах***

Интенсивность воздействия промышленных предприятий на городскую среду, степень и качественный состав техногенного загрязнения достаточно надежно фиксируются уровнями содержания химических элементов в почвах, в которых формируются техногенные геохимические аномалии, пространственно отражающих устойчивые зоны загрязнения.

Так, в почвах территорий предприятий г. Саранска установлены высокие концентрации многих химических элементов (табл. 36). В общем случае уровень загрязнения почв и качественный состав техногенных аномалий (геохимических ассоциаций) во многом обусловлены массой пылевых выбросов, продолжительностью периода функционирования предприятия и степенью концентрирования химических элементов в промышленной пыли, поступающей в атмосферу. Как правило, воздействие конкретного завода (вида производства) обуславливает формирование в почвах его территории специфической по качественному составу и особенно по количественному соотношению концентраций химических элементов геохимической ассоциации. Максимальный уровень техногенного воздействия (как по комплексности, так и по уровням концентрирования поллютантов) закономерно наблюдается для промзоны завода СЭЛЗ, отличающегося значительным по объему пылевым выбросом, высокими концентрациями многих элементов в промышленной пыли и более длительным (по сравнению с другими предприятиями) периодом функционирования. В целом качественный состав техногенных аномалий в почвах конкретной промзоны неплохо соотносится с таковым в пылевых выбросах данного завода. Подавляющее число химических элементов характеризуется значениями  $K_C$  в пределах 1,5-10. Естественно, следует помнить, что данные по составу пылевых выбросов отражают ситуацию на момент опробования, тогда как почвы кумулируют многолетнее воздействие источников загрязнения. Кроме того, заметное количество пыли и связанных с ней химических элементов, участвуя в процессах атмосферной циркуляции, распространяются и затем осаждаются на более значительной по площади территории, в том числе далеко за пределами города. Определенное количество содержащихся в осевшей на почвы пыли поллютантов выносятся за пределы промплощадок в составе поверхностного (талого, дождевого, поливочного) стока. Тем не менее, с течением времени размеры и интенсивность техногенных аномалий, фиксируемых почвами, будут увеличиваться в районе влияния практически всех обследованных предприятий. Характерно, что городские почвы в пределах многих промзон отличаются, как и промышленная пыль некоторых предприятий, пониженными (по сравнению с природными почвами) содержаниями ряда литофильных элементов (Sc, Ti, Zr, Ga, Y и др.), что указывает на участие в формировании химического состава почв пылевых выбросов.

Важной особенностью распределения химических элементов является чрезвычайно высокая пространственная неоднородность их содержаний в почвах промзон, что находит отражение в экстремальных значениях коэффициентов осцилляции (коэффициентов вариации по вариационному размаху) (табл. 37). Для Hg, Pb, V, Sb отмечены содержания, многократно превышающие ПДК. Характерно, что даже минимальные концентрации некоторых элементов превышают фоновый уровень.

Таблица 36. Геохимические ассоциации в почвах промышленных зон г. Саранска

Завод, предприятие	K <sub>c</sub> относительно фонового содержания в почвах					
	> 300	300-100	100-30	30-10	10-3	3-1,5
СЭЛЗ	Hg	Cd	Pb-Sb-Ag	Mo-Tl-W-Zn	Sn-Cu-Ba-Cr-Ge-Bi-Co	V-Ni-Be-As-B-P
СИС-ЭВС	-	Pb	-	Hg	Mo-W-Cu-V-Zn-Sb	Cd-Ge-Cr-Li-Ag-Bi-B-Sn-Yb-F-As
Кабельный	-	-	-	-	Pb-Bi-Cu-Sn-Mo-P-Sr	Zn-V-Cr
Электровыпрямитель	-	W	Mo	Ag-Sn-Cu-Hg	Cd-Ge-Pb-Bi-Zn-Be	Co-B-V-Cr-Li-P
ОЗСЭ	-	-	-	Mo	W-Bi-Pb-Be	Cd-V-Cu-Sn-P-B-P
ЗССП	-	-	-	-	Pb-Bi-Cd-Be	Zn-V-Cu-B-Hg-Mo-Co-W-Li
ЗППИ	-	-	-	Cd	W-Sb-Hg-Bi-Sn-Be-Pb	Co-V-Cu-Ag-Zn-Yb-B-Li-Ga
Точных прибор	-	-	-	W	Be-Bi	Pb-B-V-P-Hg-Li-Co-Yb
Инструментальный	-	-	-	W	Mo-Pb-Cu-Sn-Sb	Be-Ag-Co-Hg-As-Zn-B-Yb-V-Cr-F-Li
Механический	-	-	Sn	W-Cd	Bi-Mo-Pb-Cu-Co-Zn-Be	Hg-V-Cr-Yb-B-P-Ag-Li
Автосамосвалов	-	-	-	-	W-Bi-Pb-Be	Cu-B-Yb-Zn-P-Co-V-Li-Ag
ТВРЗ	-	-	-	Pb-Zn	Sn-W-Cr-Cd-Cu-Bi-V	Be-Co-Sb-Mo-Ag-Bi-Li
КПД	-	-	-	-	Bi-Pb-V-Zn	Co-Be-B-Li-Cu-F-Sn
Керамик	-	-	-	-	Pb-Mn	V-Co-Cr-Zn-Cu-Be-Hg-Li-Bi-As-Mo-Ag
КТИМ	-	-	-	-	Be-Pb-Bi-Cu-Zn	B-Mn-V-Co-W-Li-Yb-Mo-Ag
Биохимик	Cd	-	-	Cu-Hg-W-Ag-	Mo-P-Be-Bi-Zn-Pb	Cr-B-V-Ni-Co-Sn-Li
Пивобезалкогольных	-	-	-	-	Bi-V-Be-Pb-B	Zn-Cu-Co-Ag-Li-Yb-Ge-Ga
Консервный	-	-	-	-	Pb-Hg-Bi-Be-Sn	Zn-B-V-P-Cu-Co-Li-Yb
Хладокомбинат	-	-	-	Ag	Bi-Pb	Co-Zn-V-Li-As-B-P-Cu
Мясокомбинат	-	-	-	-	Bi-V	Pb-Co-Be-Zn-Li-Yb-B
Стройтранс	-	-	-	-	Pb-Bi-Be	Zn-V-Cu-P-Co-Ag-B-Li-Yb-Sn
АТП-1	-	-	-	Pb	Bi-Zn-Sb	Hg-Be-Cu-Cd-V-B-Li
АК-1185	-	-	-	-	Bi-Be-W-Pb-Cu	Co-Zn-V-F-Li-B
Горводканал	-	-	-	Pb-Cu	P-V-Hg-Ag-Sb-Be	Zn-Co-Mo-F-As-Sn
Центролит	-	-	Bi	-	Pb-Hg-Zn	Cu-Be-V-Co-Mo-W-Cr-Sn-B-Li
Резинотехника	-	-	-	-	Pb-As-V-Sb	Bi-Zn-Co-Hg-Be-Li-Mo-Cu-B-F-Ag
Типография	Sb	Pb-Ag	Sn-Bi	-	Cd-Hg-Zn	P-Be-Cu-Co
Центральная котельная	-	-	-	Hg	Pb-Be-Bi	Cu-Mo-Zn-Ag-B-Co-Mo-Sn-Yb-Li-P
ГОС	-	-	-	-	Zn-Pb-Be-Ag-Bi-Cu	Hg-P-Co-Mo-Sn-Yb

Максимальные значения коэффициентов осцилляции практически всех элементов характерны для почв промзоны СЭЛЗ. Исключение составляют Pb, W, Cu, Cr, для которых более высокие значения указанного коэффициента наблюдаются в почвах промзоны СИС-ЭВС (производство свинцового стекла). Как было показано выше, пыль СИС-ЭВС отличается особенно высокими концентрациями именно этих металлов. Отмеченная неоднородность распределения концентраций химических элементов в верхнем слое почв достаточна типична для зон загрязнения. Она может быть обусловлена дискретностью поставки элементов с выбросами и другими отходами, наличием в пределах промышленных зон различных по мощности локальных их источников, неоднородностями ветрового поля, химического и гранулометрического состава почв, перераспределением поллютантов поверхностным стоком и др.

Таблица 37. Металлы в почвах промзон заводов СЭЛЗ и СИС-ЭВС, мг/кг [78]

Металл	СЭЛЗ			СИС-ЭВС		
	Среднее	Пределы	Коэффициент осцилляции	Среднее	Пределы	Коэффициент осцилляции
Hg	28,3	0,08-300	1059	0,84	0,015-5	593
Sb	60	30-300	450	3	1,5-5	116
Ag	1,8	0,05-50	2775	0,08	0,05-0,3	312
Tl	4	3-5	50	-	-	-
Ba	2530	100-30000	1181	380	100-1500	368
Cd	6	3-50	783	1	0,3-3	270
Pb	213	10-1000	464	20	10-10000	49950
Zn	950	80-6000	623	280	50-1000	339
Sr	225	30-1000	431	75	30-300	360
Mo	8,7	0,5-100	1143	6,6	1-100	1500
W	9	5-30	277	11	5-70	590
Sn	11,7	1-60	504	5,4	3-30	500
Cu	198	30-300	136	186	30-1000	522
Cr	199	30-2000	990	136	30-2000	1448
Ni	63	20-300	444	49	20-150	265
V	202	70-600	262	345	80-600	150

Интенсивность и масштабы техногенного загрязнения, во многом связанные с продолжительностью функционирования предприятия, наглядно фиксируются при анализе распределения поллютантов в профиле почв. Например, для Hg, Zn, Mo, Pb, Cu, Ag высокие содержания в почвах промзоны СЭЛЗ прослеживаются до глубины 60-80 см. В пределах территории завода СИС ЭВС загрязнение почв для большинства химических элементов наблюдается в основном до глубины 10-15 см, тогда как наличие мощного источника поставки Pb (стекольное производство), дополнительное воздействие автотранспорта и ряда других предприятий определили очень высокие концентрации этого металла в 90-100 см толще почв, причем не только в зоне влияния стекольного производства



(рис. 6). В целом поступление в окружающую среду города Саранска промышленной пыли с высокими концентрациями обширной группы химических элементов, известных своими токсическими свойствами, обуславливает достаточно интенсивное техногенное загрязнение его территории (табл. 38, рис. 7).

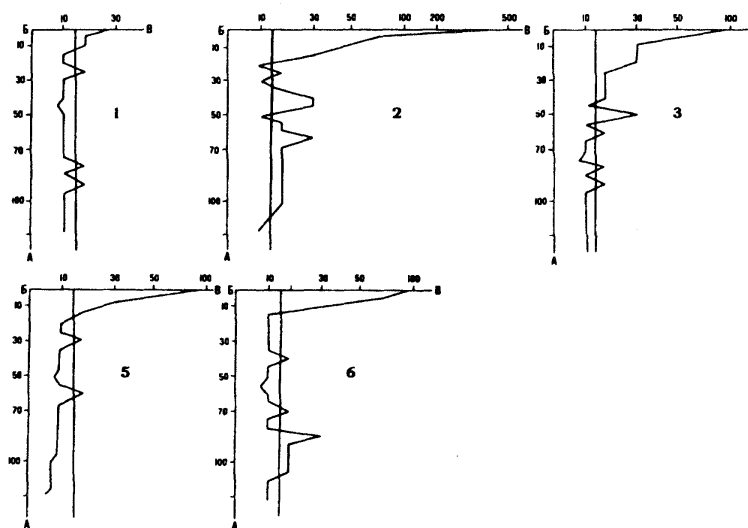


Рис. 6. Свинец в профиле почв города Саранска [79]

А-Б - глубина, см; Б-В - концентрация, мг/кг; вертикальная линия - уровень местного фона; расположение разрезов: 1 - жилой микрорайон Светотехника, 2 - промзона СИС-ЭВС, 3 - Северный (ТЭЦ-2 и зона влияния СИС-ЭВС), 5 и 6 - промзона СЭЛЗ

Таблица 38. Структура загрязнения территории Саранска по степени опасности (значения суммарного показателя загрязнения  $Z_c$  в верхнем слое почв) [83]

Категория загрязнения	$Z_c$	Относительная доля от площади города, %
Допустимая	менее 16	~ 25
Умеренно опасная	16 - 32	~ 50
Опасная	32 - 128	~ 20
Чрезвычайно опасная	более 128	~ 5

Повышенная экологическая опасность формирующихся в пределах города зон техногенного загрязнения подтверждаются также данными по содержаниям в почвах подвижных форм (извлекаемых аммонийно-ацетатной вытяжкой) металлов (табл. 39). Для большинства металлов в техногенных аномалиях наблюдается возрастание абсолютных концентраций указанных форм вплоть до превышения нормативов (Pb, Cu, Zn).

Показательно, что в почвах промзоны СЭЛЗ доля подвижных форм металлов выше, чем в почвах территорий других заводов. Это, отчасти, может быть связано с особенностями нахождения химических элементов в составе выбросов заводов и более продолжительным периодом формирования аномалий, в ходе которого «первичные» соединения элементов в условиях окружающей среды могли трансформироваться в более подвижные «вторичные».

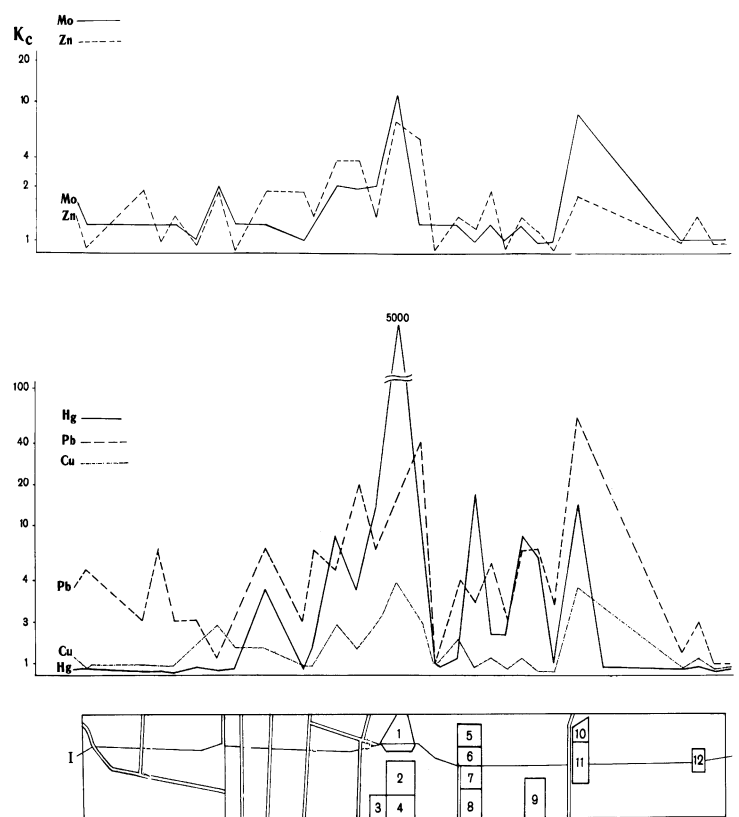


Рис. 7. Распределение значений коэффициентов концентрации ( $K_C$ ) тяжелых металлов в верхнем слое почв г. Саранска [79]

Цифрами на схеме показано расположение промзон заводов: 1 – СЭЛЗ, 2 – Биохимик, 3 – Электровыпрямитель, 4 – приборостроительного, 5 – автопромоборудования, 6 – автосамосвалов, 7 – кабельного, 8 – инструментального, 9 – крупнопанельного домостроения, 10 – ВНИИИС, 11 – СИС-ЭВС, 12 – телевизионного; I-I – линия профиля

Таблица 39. Формы нахождения тяжелых металлов в почвах промзон [6, 79]

Ме-талл	СЭЛЗ			ЭВ			ОЗСЭ			ЗСП		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Cu	160	8,4	5,3	100	1,7	1,7	26	0,8	3,1	26	0,1	0,4
Zn	300	10,5	3,5	220	32	14,5	82	1,9	2,3	160	1,6	1
Ni	73	9,6	13	75	2	2,7	46	0,7	1,5	37	0,2	0,5
Cr	80	2,3	2,9	260	2,5	1	80	0,2	0,3	80	0,1	0,1
Cd	5	1,2	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	480	36,4	7,6	60	3,9	6,5	30	0,9	3	30	0,2	0,7

Примечание: 1 - вал, мг/кг; 2 -ацетатно-аммонийная вытяжка (рН=4,8), мг/кг; 3 -доля подвижных форм, извлекаемых указанной вытяжкой.

Выпадение пыли способствует изменению химического (силикатного) состава верхнего слоя почв и определяет его высокую пространственную неоднородность в пределах небольшого по площади участка территории, что очень редко наблюдается в естественных условиях (табл. 40). Для городских почв характерно увеличение количества глинозема, соединений Fe, Ca, Mg, органики, F и заметное уменьшение кремнезема.

Таблица 40. Валовый химический состав верхнего горизонта городских почв, %

Ком-по-нент	Фон	Территория г. Саранска				
		Жилой район Светотехника	Промзона СИС-ЭВС	Промзона СЭЛЗ	Вблизи завода Резинотехника	Вблизи ТЭЦ-2
SiO <sub>2</sub>	73,69	73,25	69,43	59,74	65,10	64,56
TiO <sub>2</sub>	0,54	0,42	0,47	0,76	0,56	0,59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,41	6,39	8,23	14,83	10,03	9,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,47	0,93	1,14	4,03	3,04	2,77
FeO	2,59	2,08	5,03	1,72	2,15	1,72
MnO	0,20	0,04	0,06	0,09	0,06	0,07
CaO	0,47	0,94	2,20	2,67	1,73	2,04
MgO	0,70	0,90	0,90	1,70	1,10	1,00
Na <sub>2</sub> O	0,55	0,50	0,40	1,13	0,80	0,70
K <sub>2</sub> O	1,48	1,43	1,26	2,36	2,31	1,98
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,14	0,09	0,19	0,27	0,18
H <sub>2</sub> O	4,98	1,76	1,84	2,76	2,28	3,16
S <sub>общая</sub>	< 0,10	0,21	0,20	0,21	< 0,10	<0,10
ППП	7,20	10,45	8,18	7,35	10,09	11,41
CO <sub>2</sub>	0,22	0,22	1,32	1,10	0,66	0,44
Фтор	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04

### ***Гигиенические последствия поступления промышленной пыли в городскую среду***

Ежесуточно человек пропускает через свою дыхательную систему 7,5-12 м<sup>3</sup> воздуха. При этом вместе с воздухом в его организм, особенно в промышленных городах, поступает определенное количество пыли, содержащей, как показано выше, различные токсичные химические элементы, причем очень часто наиболее высокие их концентрации наблюдаются в респирабельной фракции пыли. Как следует из табл. 41, максимальное количество (917000) в единице объема воздуха при объемной концентрации в 1% характерно именно для самых тонких частиц (0-0,5 мкм). При увеличении размера частиц пыли от 0,5 до 30 мкм уменьшается их доля в воздухе; максимальная объемная концентрация (52 и 28 %) отмечена для частиц с размером 5-10 и 10-30 мкм.

Таблица 41. Среднее количество пыли с частицами определенного размера в чистом воздухе [4]

Размер частиц, мкм	Средний размер частицы, мкм	Число частиц (в данном диапазоне размеров на миллион), ppm	Объемная концентрация (или массовая при средней плотности газа), %
0-0,5	0,25	917000	1
0,5-1	0,75	67900	2
1-3	2	10800	6
3-5	4	2500	11
5-10	7,5	1750	52
10-30	20	50	28
0-30	15	1000000	100

Результаты натурных наблюдений показывают, что подавляющая часть взвешенных частиц, присутствующих в городской атмосфере, представлена фракцией менее 100 мкм, составляющей 99,95% общего количества пыли, однако общая масса ее очень часто определяется именно крупными частицами [104]. Для тонких частиц зависимость между их количеством частиц и массой выражена более четко ( $r=0,84$ ), чем для грубых частиц ( $r=0,67$ ). Исследования, выполненные в 14 городах Великобритании, установили, что при среднесуточных содержаниях аэрозолей (диаметром менее 10 мкм) в атмосферном воздухе в диапазоне 15-40 мкг/м<sup>3</sup> на долю частиц диаметром менее 2,5 мкм приходилось 50-70% суммарной массовой концентрации взвешенного в воздухе твердого вещества [102]. По данным [20], в загрязненном воздухе большинство частиц имеют размеры от 0,01 до 0,1 мкм.

Пыль, поступающая в составе промышленных выбросов в окружающую среду, является важным гигиеническим фактором, в большинстве случаев оказывающего негативное влияние на состояние здоровья

людей. Установлена прямая зависимость показателей заболеваемости городского населения от количества выпадающей пыли (рис. 8, 9).

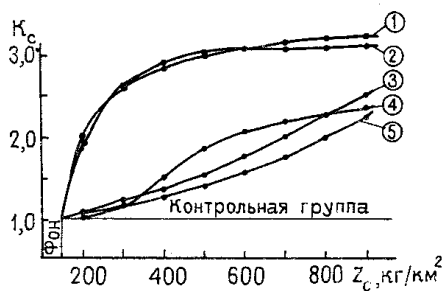


Рис. 8. Зависимость между распространенностью заболеваний среди детей и уровнем выпадения пыли в промышленном городе [53]

$K_c$  – показатель увеличения заболеваемости детей относительно заболеваемости на фоновых территориях;  $Z_c$  – показатель суммарного среднесуточного выпадения поллютантов; цифры в кружках – заболевания: 1 – бронхиальная астма, 2 – конъюнктивит, 3 – отит, 4 – острый фарингит и острый тонзиллит, 5 – острый бронхит

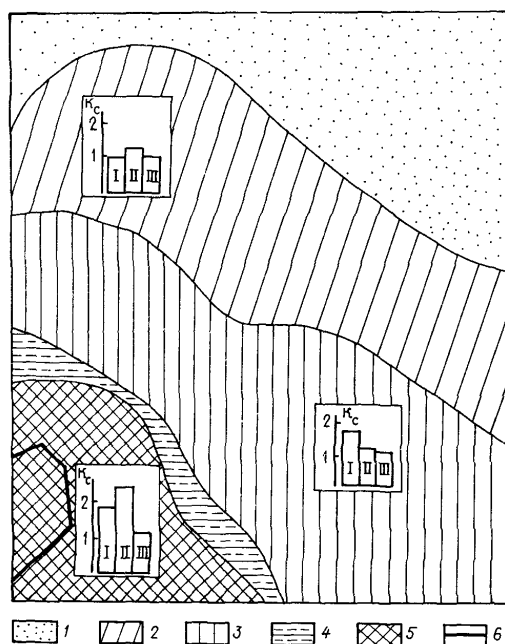


Рис. 9. Частота распространения хронических заболеваний среди детей в городе с различным уровнем выпадения пыли [53]

1-5 – уровни среднесуточного выпадения пыли (в  $\text{кг}/\text{км}^2$ ): 1 – менее 20, 2 – 20-50, 3 – 50-150, 4 – 150-400, 5 – более 400; 6 – граница промышленной зоны; на гистограммах показана частота распространения хронических заболеваний: I – отит, II – заболевания миндалин и аденоидов, III – пневмония

Есть сведения о негативном воздействии городской пыли, содержащей тяжелые металлы и органические соединения, на эритроциты человека [1992]. Выявлена статистическая связь между количеством взвешенных в воздухе частиц (особенно для частиц размером менее 2.5 мкм), образующихся в результате сжигания угля и моторного топлива, и повышенной ежедневной смертностью населения в 6 городах США [99]. Установлено воздействие выбросов промышленной пыли, содержащей тяжелые металлы на жизнеспособность и накопление металлов гетеротрофными бактериями в речных системах [110].

В городах промышленная пыль и загрязненные почвы являются основным источником поставки тяжелых металлов в так называемые городскую уличную пыль (*urban street dust*) и в пыль, проникающую в жилые помещения и осаждающуюся на различных поверхностях (домашняя пыль) [89, 105, 108, 109]. Очень часто такая пыль попадает в организм детей с грязных рук и игрушек. Специальными исследованиями в Англии и Шотландии установлено, что содержание свинца в крови детей в возрасте около 2 лет в существенной мере определяется повышенными концентрациями этого металла именно в домашней пыли [109]. Установлено, что маленький ребенок поглощает в день до 36 мкг свинца, из них 1 мкг ингаляционно и 35 мкг - через рот (с грязных рук, игрушек и т. п.).

Изучение накопления свинца в волосах детей в зависимости от места работы их родителей показало, что дети, родители которых работают на промышленных предприятиях г. Саранска, отличаются более высокими уровнями свинца в волосах (табл. 42).

Таблица 42. Среднее содержание свинца в волосах детей дошкольного (1) и школьного (2) возраста в зависимости от места работы родителей, мкг/г [80]

Место работы родителей	1	2
Завод автосамосвалов	3,73	-
Завод механический	7,55	2,72
СЭЛЗ	13,77	5,36
СИС-ЭВС	8,23	7,47
Экскаваторный	8,0	-
Электровыпрямитель	11,67	5,8
Приборостроительный	-	4,83
Биохимик	10,0	4,0
Типография	5,0	-
Резинотехника	-	17,3
Инструментальный	-	2,8
Кабельный	-	4,0
Автотранспортные предприятия*	21,49	5,71
«Непромышленные» предприятия	3,65	2,84
Фон		3,58
Допустимый уровень		8
Критический уровень		24

\* В эту группу включены также дети, родители которых работали в автоинспекции.

Особенно значительными были уровни содержания свинца в волосах тех детей, родители которых работали на автотранспортных предприятиях, заводах Резинотехника, СИС-ЭВС, СЭЛЗ, Электровыпрямитель, Биохимик. Полученные данные свидетельствуют о возможном приносе родителями (на обуви, одежде и пр.) этого токсичного металла в жилую среду. В последние годы высказывалось мнение, что в качестве допустимого уровня свинца в волосах детей следует рассматривать концентрация 3 мкг/г [16]. Если исходить из указанной величины, то тогда практически у всех обследованных групп детей «промышленных» рабочих его концентрации превышают рекомендуемую норму. Такой путь поступления в жилые помещения установлен для многих поллютантов, в том числе, например, для ртути и асбеста [6, 73, 74, 76, 77].

Необходимы разработка и осуществление специальных программ, в которых особое внимание должно уделяться обследованию членов семей профессиональных рабочих, контактирующих в производственных условиях с содержащей вредные вещества пылью и материалами. Есть основания полагать, что такие программы и исследования являются крайне актуальными для многих промышленных городов России.

## Заключение

Атмосферный воздух всегда содержит определенное количество твердых взвешенных веществ, в обиходе называемых пылью. Пыль поступает в атмосферу как естественным путем (природная пыль), так и в результате деятельности человека (техногенная пыль). Важнейшей разновидностью техногенной пыли является промышленная пыль, образующаяся на промышленных предприятиях в ходе различных технологических процессов и операций. Такая пыль обладает широким спектром негативных воздействий на живые организмы и экосистемы в целом. В свою очередь, пылевые выбросы промышленных предприятий являются одним из основных способов поставки в окружающую среду многих химических элементов и их соединений.

С эколого-гигиенических позиций необходимо различать следующие разновидности промышленной пыли:

- технологическую пыль, которая образуется в ходе основных производственных процессов; количество и состав этой пыли характеризуют преимущественно организованный выброс предприятия; обычно она поступает во внешнюю среду через специальные системы газоходов и труб, как правило, с соответствующей системой пылеподавления и очистки в аппаратах-пылеуловителях;

- вентиляционную пыль, которая образуется при местных технологических процессах и поступает в атмосферу в основном через местные системы вентиляции, а также через окна, двери и т. п. (неорганизованные выбросы);

- пыль, присутствующую в помещениях, т. е. твердые вещества, которые осаждаются из воздуха производственных цехов на различные подстилающие поверхности (так называемые пылесметы).

Как правило, технологическая и вентиляционная пыль заводов, где широко применяются процессы механической обработки металлов, значительно обогащена железом. Аналогичная пыль многих других предприятий представляет собой смешанное образование, характеризующееся относительно пониженным содержанием железа, высокой степенью кальцитонности или доломитонности. Состав пылесметов в каждом конкретном случае специфичен, что во многом определяется наличием производственных операций, часто напрямую не связанных с основными технологическими процессами, свойственными данному заводу (цеху, производству).

С эколого-геохимической точки зрения важнейшей особенностью промышленной пыли является интенсивное концентрирование во всех ее видах широкого круга химических элементов, содержания которых существенно превышают их уровни в природных почвах. Обычно конкрет-



ный завод (производство) отличается специфическим обликом геохимической ассоциации, типичной для того или иного вида промышленной пыли, что в существенной мере является отражением специфики технологических процессов и особенностей состава используемых сырья, материалов, веществ. Специфичность проявляется главным образом в различных количественных соотношениях химических элементов, входящих в геохимические ассоциации, а в редких случаях - в экстремально высоких концентрациях какого-либо химического элемента, свойственного только лишь для пыли данного предприятия (производства). Как правило, в пыли заводов, где развиты механические и физико-химические процессы обработки различных материалов и широко используются химические элементы и их соединения, практически всегда наблюдаются полиэлементные геохимические ассоциации. Качественное обеднение состава ассоциаций обычно характерно для пыли предприятий стройиндустрии и пищевой промышленности. Практически во всех видах промышленной пыли, образующейся на различных предприятиях, ведущими элементами геохимических ассоциаций являются тяжелые металлы. В существенной мере интенсивность концентрирования химических элементов, особенно тяжелых металлов, контролируется макросоставом пыли. Как правило, в пыли предприятий, где применяются процессы металлообработки, наблюдается прямая связь более высоких концентраций многих металлов с обогащенностью ее железом. Заметная доля тяжелых металлов, концентрирующихся в промышленной пыли, представлена их подвижными, геохимически активными формами. Это предопределяет повышенную эколого-токсикологическую опасность пыли и вероятность активного преобразования связанных с ней поллютантов в ходе миграции в окружающей среде.

Промышленная пыль играет важную роль в загрязнении атмосферного воздуха, а также в образовании зон техногенного загрязнения, фиксируемых снежным покровом и почвами. Осаждение пыли на подстилающую поверхность приводит к изменению физико-химических характеристик городских почв, что проявляется в увеличении в них содержания глинозема, соединений железа, кальция, магния и в заметном уменьшении количества кремнезема, но главное - в формировании в почвах техногенных геохимических аномалий, пространственно отражающих устойчивые зоны техногенного загрязнения. В общем случае уровень загрязнения почв и качественный состав техногенных аномалий (геохимических ассоциаций) во многом обусловлены массой пылевых выбросов, продолжительностью периода функционирования предприятия и степенью концентрирования химических элементов в промышленной пыли, поступающей в атмосферу. Как правило, воздействие конкретного завода (вида производства) сопровождается формированием в почвах своеобразной (по качественному составу и особенно по количественному

соотношению концентраций элементов) геохимической ассоциации. Пыль, осаждаемая с атмосферными осадками и обогащенная многими химическими элементами, в составе талого и дождевого стока поступает в водные объекты. В ходе миграции и последующего осаждения пыли происходит изменение форм нахождения связанных с ней химических элементов.

Промышленная пыль является важным гигиеническим фактором и часто оказывает негативное влияние на состояние здоровья людей. Установлена прямая зависимость показателей заболеваемости городского населения от количества выпадающей пыли. В городах промышленная пыль и загрязненные почвы играют роль основных источников поставки тяжелых металлов в пыль, проникающую в жилые помещения и осаждающуюся на различных поверхностях. В волосах детей, родители которых работают на промышленных предприятиях, установлены высокие концентрации тяжелых металлов, что свидетельствует о поступлении поллютантов в жилые помещения в составе пыли, осаждаемой на одежде и обуви рабочих.

Химический состав всех видов промышленной пыли должен в обязательном порядке учитываться при оценках техногенного воздействия на окружающую среду, при определении возможного экологического риска, при обосновании коэффициентов эмиссии (удельных выбросов) загрязняющих веществ, расчете предельно допустимых выбросов, при проведении ОВОС, экологического аудита, экологической экспертизы, а также при обосновании основных направлений вторичного использования уловленной пыли. Контроль химического состава пыли должен стать составной частью санитарно-гигиенического и экологического мониторинга, осуществляемого соответствующими службами на всех промышленных предприятиях. В российских городах необходимы разработка и осуществление специальных программ, в которых особое внимание должно уделяться обследованию членов семей профессиональных рабочих, контактирующих в производственных условиях с содержащими вредные вещества пылью и различными материалами.

## Литература

1. *Андоньев С.М., Филиппов О.В.* Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. - М.: Металлургия, 1979. - 192 с.
2. *Бадюков Д.Д., Назаров М.А., Алексеев А.С.* Проблемы геологической оценки роли ударно-взрывных событий в истории Земли // Тр. Всес. сов. «Астероидная опасность». - СПб.: ИТА РАН, 1992, с. 74-78.
3. *Бобков А.С., Блинов А.А., Роздин И.А., Хабарова Е.И.* Охрана труда и экологическая безопасность в химической промышленности. - М.: Химия, 1997. - 400 с.
4. *Бретшнайдер Б., Курфюрст И.* Охрана воздушного бассейна от загрязнений: Технология и контроль: Пер. с англ. - Л.: Химия, 1989. - 388 с.
5. *Бримблкумб П.* Состав и химия атмосферы: Пер. с англ. - М.: Мир, 1988. - 352 с.
6. *Буренков Э.К., Янин Е.П., Кижаскин С.А. и др.* Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды г. Саранска. - М.: ИМГРЭ, 1993. - 115 с.
7. *Величковский Б.Т.* Фиброгенные пыли. Особенности строения и механизм биологического действия. - Горький, 1980. - 159 с.
8. *Волох А.А.* Опыт контроля за загрязнением атмосферного воздуха металлами и летучими органическими соединениями на городских и фоновых территориях // Геохимические исследования городских агломераций. - М.: ИМГРЭ, 1998, с. 40-58.
9. Выборочные методы измерения загрязнений атмосферного воздуха: Пер. с англ. – Женева: ВОЗ, 1979. - 127 с.
10. Географический энциклопедический словарь. - М.: Сов. энциклопедия, 1988. - 432 с.
11. *Глазовский Н.Ф., Злобина А.И., Учватов В.П.* Химический состав снежного покрова некоторых районов Верхнеокского бассейна // Региональный экологический мониторинг. - М.: Наука, 1983, с. 67-86.
12. Горная энциклопедия. Т. 4. - М.: Сов. энциклопедия, 1989. - 623 с.
13. ГОСТ 17.2.3.02-78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями.
14. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1998 году». - М.: Гос. центр экологических программ, 2000. - 498 с.
15. *Грабовский Р.И.* Атмосферные ядра конденсации. - Л.: Гидрометеоздат, 1956. - 164 с.
16. Доклад о свинцовом загрязнении окружающей среды Российской Федерации и его влияние на здоровье населения. - М.: РЭФИА, 1997. - 48 с.
17. *Дуева Л.А., Коган В.Ю., Суворов С.В., Штеренгарц Р.Я.* Промышленные аллергены. - М.: ЦМПР, 1989. - 203 с.
18. *Еремкин А.И., Квашинин И.М., Юнкеров Ю.И.* Нормирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу: Учебное пособие. - М.: Изд-во АСБ, 2000. - 176 с.
19. Загрязнение воздуха и жизнь растений: Пер. с англ. - Л.: Гидрометеоздат, 1988. - 535 с.

20. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справ. изд.: Пер. с англ. - М.: Металлургия, 1988. - Т. 1. - 760 с.; Т. 2. - 712 с.
21. *Зимон А.Д.* Аэрозоли, или Джин, вырвавшийся из бутылки. - М.: Химия, 1993. - 208 с.
22. *Какарека С.В., Хомич В.С., Кухарчик Т.И. и др.* Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: опыт оценки удельных показателей. - Минск: ИПИПРиЭ НАН Беларуси, 1998. - 187 с.
23. *Какарека С.В., Кухарчик Т.И., Хомич В.С., Янин Е.П.* О состоянии и проблемах инвентаризации выбросов ртути в атмосферу // Эколого-геохимические проблемы ртути. - М.: ИМГРЭ, 2000, с. 12-37.
24. *Квашин И.М., Юнкеров Ю.И.* Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферу промышленными предприятиями: Учебное пособие. - Пенза: ПГА-СА, 1998. - 181 с.
25. *Коган Ф.М.* Асбестосодержащие пыли и меры предупреждения их вредного влияния на здоровье работающих. - Свердловск, 1975. - 223 с.
26. *Компановский В.И., Сархисов С.Л., Степанов Г.В., Хургуани В.Г.* Пыль в атмосфере и околоземном космическом пространстве // Тр. симпозиума по межпланетной пыли. - М.: Наука, 1973, с. 179-181.
27. *Кузнецова Л. П.* Перенос влаги в атмосфере над территорией СССР. - М.: Наука, 1978. - 91 с.
28. *Кулуцков В.Н., Сирин А.А.* Прикладные аспекты изучения загрязнения снежного покрова выбросами черной металлургии // География и рациональное природопользование. - М., 1979, с. 38-40.
29. *Логинов В.Ф., Какарека С.В., Хомич В.С. и др.* Некоторые результаты экспериментальных работ для оценки эмиссионных факторов тяжелых металлов // Проблемы инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Материалы Междунар. семинара по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и использованию справочного руководства ЕМЕР/CORINAIR, 1-2 октября 1997 г. Минск-Раубичи (Республика Беларусь). - Минск: ИПИПРиЭ НАН Беларуси, 1998, с. 81-90
30. *Луценко С.В., Лебедев В.И., Лыкосов В.Н.* Моделирование процессов переноса почвенного аэрозоля в конвективном пограничном слое атмосферы // Междунар. конф. «Физика атмосферного аэрозоля» к 85-летию со дня рождения Г.В. Розенберга. Москва, 12-17 апреля, 1999: Труды конф. - М.: Диалог-МГУ, 1999, с. 216-229.
31. *Макаров С.В., Шагарова Л.Б.* Экологическое аудирование промышленных производств. - М.: НУМЦ Госкомэкологии России, 1997. - 144 с.
32. *Маринов Б.Н., Голованов О.Г., Голева Р.В.* Оценка экологического состояния восточной части г. Щелкова (Московская область) на основе гидрогеохимического опробования снежного покрова и изучения состава атмосферной пыли // Геоэкологические исследования и охрана недр. Вып. 2. - М.: Геоинформмарк, 1996, с. 46-54.
33. *Матешвили Г.Г., Матешвили Ю.Д.* Откуда пыль в атмосфере // Вестник Российской академии наук, 199, 69, № 1, с. 32-34.
34. *Маханько Э.П., Малахов С.Г., Вертинская Г.К.* Опыт исследования загрязнения почв металлами вокруг металлургических предприятий // Тр. ИЭМ, 1985, вып. 13 (128), с. 50-59.

35. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами / Б.А. Ревич, Ю.Е. Саэт, Р.С. Смирнова, Е.П. Сорокина. - М.: ИМГРЭ, 1982. - 112 с.
36. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды / Ю.Е. Саэт, И.Л. Башаркевич, Б.А. Ревич. - М.: ИМГРЭ, 1982. - 66 с.
37. *Ожегов С.И.* Словарь русского языка. - М.: Русский язык, 1988. - 750 с.
38. Окружающая среда: энциклопедический словарь-справочник: Пер. с нем. - М.: Прогресс, 1993. - 640 с.
39. ОНД-90. Руководство по контролю источников загрязнения атмосферы. - СПб., 1992. - Ч. 1 - 98 с.; Ч. 2 - 104 с.
40. О санитарно-гигиенической и эпидемиологической обстановке в России в 1993 г. // *Врач*, 1994, № 6-7.
41. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в СССР: Стат. сб. - М.: Финансы и статистика, 1989. - 174 с.
42. *Первунина Р.И., Малахов С.Г.* Подвижность металлов, выпавших на почву в составе выбросов промышленных предприятий // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах (Тр. V Всес. сов., Обнинск, 1987). - Л.: Гидрометеиздат, 1988, с. 171-179.
43. Перечень основной нормативной, методической и справочной документации по охране воздушного бассейна. - СПб.: ГГО им. А.И. Воейкова, НПО «Атмосфера», 1995. - 96 с.
44. *Петрянов-Соколов И.В., Сутургин А.Г.* Аэрозоли. - М.: Наука, 1989. - 144 с.
45. *Плотникова Л.В.* Снижение загрязнения атмосферы на промышленных территориях // Водоснабжение и санитарная техника, 1992, № 9, с. 2-4.
46. Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв. - М.: Изд-во МГУ, 1994. - 272 с.
47. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: Гигиенические нормативы. - М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России, 1988 - 208 с.
48. Проблемы инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Мат-лы Междунар. сем. По инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и использованию справочного руководства ЕМЕП/CORINAIR, 1-2 октября 1997 г. Минск-Раубичи (Республика Беларусь). - Минск: ИПИПРиЭ НАН Беларуси, 1998. - 117 с.
49. *Пушкин С.Г., Михайлов В.А.* Компараторный нейтронно-активационный анализ. Изучение атмосферных аэрозолей. - Новосибирск: Наука, 1989. - 125 с.
50. *Рамад Ф.* Основы прикладной экологии. Воздействие человека на биосферу: Пер. с фр. - Л.: Гидрометеиздат, 1981. - 543 с.
51. *Рослый О.Ф., Домнин С.Г.* Гигиеническая оценка пылевого фактора при получении медных сплавов // Медицина труда и экология человека в горно-металлургической промышленности: Сб. науч. тр. - Екатеринбург, 1999, с. 9-13.

52. *Рохмистров В.Л.* Роль техногенеза в формировании почв урбанизированных территорий // Географические аспекты рационального природопользования в Верхневолжском Нечерноземье. - Ярославль: Пединститут, 1984, с. 10-26.
53. *Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. - М.: Недра, 1990. - 335 с.
54. *Серова В.В.* Минералогия оловои и водной взвеси Индийского океана. - М.: Наука, 1988. - 176 с.
55. *Смит У.Х.* Лес и атмосфера. Взаимодействие между лесными экосистемами и примесями атмосферного воздуха: Пер. с англ. - М.: Прогресс, 1985. - 429 с.
56. Состояние здоровья населения и среды обитания города Саранска Республики Мордовия. - Саранск, 1996. - 88 с.
57. Состояние природной среды в СССР в 1988 году: Межведомственный доклад. - М.: Лесная промышленность, 1990. - 176 с.
58. Справочник по видам аналитических работ, выполняемых в лабораториях ИМГРЭ. - М.: ИМГРЭ, 1987. - 128 с.
59. Справочник по геохимии. - М.: Недра, 1990. - 480 с.
60. Справочник по профессиональной патологии. - Л.: Медицина, 1981. - 376 с.
61. Терминологический словарь по загрязнению атмосферного воздуха: Пер. с англ. - Копенгаген: ВОЗ, 1982. - 156 с.
62. Толковый словарь русского языка: В 4 т. Т. 3. / Под ред. проф. Д. Ушакова. - М.: ТЕРРА, 1996. - 712 с.
63. *Толочко А.И., Славин В.И., Супрун Ю.М. и др.* Утилизация пылей и шламов в черной металлургии. - Челябинск: Металлургия, 1990. - 152 с.
64. Угроза с неба: рок или случайность? Опасность столкновения Земли с астероидами, кометами и метеороидами. - М.: Космосинформ, 1999. - 220 с.
65. *Фелленберг Г.* Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию: Пер. с нем. - М.: Мир, 1997. - 232 с.
66. *Филиппова Н.А.* Фазовый анализ руд и продуктов их переработки. - М.: Химия, 1975. - 280 с.
67. *Хромов С.П.* Метеорология и климатология. - Л.: Гидрометеиздат, 1968. - 491 с.
68. *Челноков А.А., Плышевский С.В.* О возможности использования «Руководства по инвентаризации выбросов в атмосферу» при оценке выбросов предприятий строительных материалов // Проблемы инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Мат-лы Междунар. сем. По инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и использованию справочного руководства ЕМЕР/CORINAIR, 1-2 октября 1997 г. Минск-Раубичи (Республика Беларусь). - Минск: ИПИПРиЭ НАН Беларуси, 1998, с. 91-102.
69. *Шеховцов А.А., Жильцов Е.В., Чижов С.Г.* Влияние отраслей экономики Российской Федерации на состояние природной среды в 1993-1995 гг. - М.: Издательский центр «Метеорология и гидрология», 1997. - 329 с.
70. *Шимечек Я., Штохл В.* Волокнистая пыль в воздухе производственных помещений: Пер. с чешск. - М.: Стройиздат, 1990. - 194 с.
71. *Штраус В., Мэйнуорринг С.Д.* Контроль загрязнения воздушного бассейна: Пер. с англ. - М.: Стройиздат, 1989. - 144 с.

72. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы: Пер. с англ. - М.: Мир, 1965. - 347 с.
73. Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города. - М.: ИМГРЭ, 1992. - 169 с.
74. Янин Е.П. Специфический источник поступления загрязняющих веществ в жилые помещения // Медицина труда и промышленная экология, 1995, № 10, с. 39-40.
75. Янин Е.П. Эколого-геохимические аспекты производства и использования люминесцентных ламп // Ртуть. Комплексная система безопасности. Сб. мат-лов научн.-техн. конф. - СПб., 1996, с. 61-73.
76. Янин Е.П. Специфический источник поступления ртути в жилые помещения // Ртуть. Комплексная система безопасности. Сб. мат-лов научн.-техн. конф. - СПб., 1996, с. 45-48.
77. Янин Е.П. Асбест в окружающей среде. (Введение в экологическое асбестоведение). - М.: ИМГРЭ, 1997. - 176 с.
78. Янин Е.П. Экологические аспекты производства и использования ртутных ламп. - М.: Диалог-МГУ, 1997. - 41 с.
79. Янин Е.П. Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). - М.: Диалог-МГУ, 1998. - 281 с.
80. Янин Е.П. Геохимические особенности и экологические последствия загрязнения свинцом городской среды // Геохимические исследования городских агломераций. - М.: ИМГРЭ, 1998, с. 77-103.
81. Янин Е.П. Ртуть в пылевых выбросах промышленных предприятий // Ртуть. Комплексная система безопасности. - СПб., 1999, с. 26-30.
82. Янин Е.П. Химические элементы в пылевых выбросах электротехнических предприятий // Медицина труда и промышленная экология, 2000, № 8, с. 24-27.
83. Янин Е.П. Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды города Саранска. Состав техногенного загрязнения // Экологический вестник Мордовии, № 1, март 2002, с. 25-33.
84. Янин Е.П. Ртуть в пылевых выбросах промышленных предприятий // Экологическая экспертиза. Обзорная информация. Вып. 4. - М.: ВИНТИ, 2002, с. 10-29.
85. Янин Е.П. Ртуть в пылевых выбросах и почвах промышленных предприятий // Медицина труда и промышленная экология, 2002, № 8, с. 22-24.
86. Ясенский А.Н. Анализ применимости «Руководства по инвентаризации выбросов в атмосферу» в России // Проблемы инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Мат-лы Междунар. сем. По инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и использованию справочного руководства ЕМЕП/CORINAIR, 1-2 октября 1997 г. Минск-Раубичи (Республика Беларусь). - Минск: ИПИПРиЭ НАН Беларуси, 1998, с. 24-30.
87. Atmospheric Emission Inventory Guidebook. A joint EMEP/CORINAIR Production Prepared by the EMEP Task Force on Emission Inventories, 1996.
88. Bouscaren R., Fontelle J.P., Chang J.P. Inventory of pollutant emissions into atmosphere in Europe - CORINAIR project // Geosci. and Water Resour.: Environ. Data Model. - Berlin, 1997, p. 134-148.
89. Cadmium in the city streets // New. Sci., 1979, 81, № 1144, p. 651.

90. *Chamberlain A.C.* Aspects of the deposition of radioactive and other gases and particles // *Int. J. Air Pollut.*, 1960, 3, p. 63-88.
91. *Chan W.H., Lysis M.A.* Post-superstack Sudbury smelter emissions and their fate in the atmosphere: an overview of the Sudbury environment study results // *Water, Air, and Soil Pollut.*, 1985, 26, № 1, p. 43-58.
92. *Chan W.H., Vet R.J., Ro C.U. et al.* Impact of INCO smelter emissions on wet and dry deposition in the Sudbury area // *Atmos. Environ.*, 1984, 18, № 5, p. 1001-1008.
93. *Corn M.* Aerosols and the primary pollutants-nonviable particles. Their occurrence, properties and effects // *Air Pollution. V. 1.* (Ed. A.C. Stern). - New York: Academic Press, 1976, p. 77-168.
94. *Dworak T.Zb., Toffel A.* Charakterystyka przebiegu roznego stezeń pulú zawieszzonego w Krakowie // *Prz. neofiz.*, 1992, 37, № 1-2, s. 45-50.
95. Emission Factors Manual PARCOM-ATMOS. Emission Factors for Air Pollutants. Final version. - TNO Report 92-233/112322-24285, 1992.
96. *Guerzoni S., Lenaz R., Rampazzo G. et al.* Gechemical characterization of airborne particles from the lower troposphere of Terra Nova Bay, Antarctica // *Symp. Troposph. Chem. Antarct. Reg.*, Boulder, Colo, June 3-6, 1991: Pre-Conf. Abstr. - Boulder (Colo), 1991, p. 21.
97. *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.
98. *Kakareka S., Khomoch V., Kukharchyk T. et al.* Heavy metals emission factors assessment for the CTS countries. - Minsk: Institute for Problems of Natural Resources Use and Ecology of the National Academy of Sciences of Belarus, 1998. - 159 p.
99. *Laden F., Neas L.M., Dockery D.W., Schwartz J.* Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U. S. cities // *Environ. Health Perspect.*, 2000, 108, № 10, p. 941-947.
100. *Mackay A.W., Long X., Rose N.L., Battarbee R.W.* New approaches to characterizing urban air particles in central London // *J. Environ. Sci. (China)*, 1999, 11, № 3, p. 367-372.
101. *Matsen J.* Particulate emissions // *Encycl. Environ. Sci. and Eng. Vol. 2: F-P.* - New York e. a., 1983, p. 802-815.
102. *Muir D.* PM<sub>10</sub> particulates in relation to other atmospheric pollutants // *Environ. Monit. and Assess.*, 1998, 52, № 1-2, p. 29-42.
103. *Patel T.* Filthy air pushes Delhi to crisis point // *New Sci.*, 1997, 153, № 2072, p. 9.
104. *Pomeroy N., Webber D., Murphy C.* Monitoring of particle mass and number in urban air // *Environ. Monit. and Assess.*, 2000, 65, № 1-2, p. 175-180.
- 104a. *Salomons W., Förstner U.* Metals in the hydrocycl. - Berlin e. a.: Springer-Verlag, 1985. - 356 p.
105. *Schwar M.J.R., Moorcroft J.S., Laxen D.P.H. et al.* Baseline metal-in-dust concentrations in greater London // *Sci. Total Environ.*, 1988, 68, p. 25-43.



106. *Siddiqui S.M., Khan S.A., Ahmad S., Beg M.U.* Effects of airborne dust collected from Kuwait on human erythrocytes // *J. Environ. Sci. and Health A.*, 1992, 27, № 5, p. 1229-1236.
107. The European Atmospheric Emission Inventory for Heavy Metals and Persistent Organic Pollutants for 1990 (CD), 1997.
108. *Thornton I.* Metal content of soil and dust // *Sci. Total Environ.*, 1988, 75, № 1, p. 21-39.
109. *Thornton I., Davies D.J.A., Watt J.M., Quinn M.J.* Lead exposure in young children from dust and soil in the United Kingdom // *Environ. Health Perspect.*, 1990, 89, p. 55-60.
110. *Treal K.* The effects of emission of industrial dusts on bacteria in the of waters of the Niepolomice forest // *Chemosphere*, 1986, 15, № 5, p. 629-644.
111. *Vermette S.J., Irvine K.N., Drake J.J.* Temporal variability of the elemental composition in urban street dust // *Environ. Monit. and Assessment*, 1991, 18, № 1, p. 69-71.
112. *Yang Shao-jin, Dong Jin-quan, Cheng Bing-ru* Characteristics of air particulate matter and their sources in urban and rural area of Beijing, China // *J. Environ. Sci. (China)*, 2000, 12, № 4, p. 402-409.
113. *Yanin E.P.* Electrical Engineering Industry and the Urban Environment (man-made pollution and ecological effects). - Moscow: Dialog-MGU Publ., 1998. - 37 p.
114. *Yanin E.P., Moskalenko N. N.* Monitoring and Assessment of Mercury Pollution in the Vicinity of Electrical Engineering Plants in the CIS // *Mercury Contaminated Sites: Characterization, Risk Assessment and Remediation (Springer Environmental Science Book Series)*. - Heidelberg: Springer Verlag, 1999, p. 221-234.

## Содержание

Введение.....	3
Пыль в среде обитания.....	5
Основные разновидности и свойства пыли.....	5
Источники пыли и уровни ее содержания в атмосфере.....	12
Инвентаризация пылевых выбросов и технологические аспекты пылеулавливания.....	19
Промышленная пыль в городской среде.....	25
Объекты и методика исследований.....	26
Макросостав промышленной пыли.....	27
Химические элементы в промышленной пыли.....	35
Формы металлов в промышленной пыли.....	49
Промышленная пыль и формирование зон техногенного загрязнения.....	53
Особенности поведения пыли и связанных с ней поллютантов в окружающей среде.....	53
Техногенные геохимические аномалии в городских почвах.....	61
Гигиенические последствия поступления промышленной пыли в городскую среду.....	68
Заключение.....	72
Литература.....	75

---

Янин Евгений Петрович  
Промышленная пыль в городской среде  
(геохимические особенности и экологическая оценка)

Утверждено к печати  
Институтом минералогии, геохимии  
и кристаллохимии редких элементов

Редактор Т.И. Нефелова

Подписано к печати 18.03.2003.  
Формат 60 x 90 1/16. Уч. изд. л. 5,1.  
Тираж 200. Заказ  
Полиграфическая база ИМГРЭ.