

Янин Е.П. Роль промышленной пыли в формировании общего состава и физико-химических свойств городских почв // Экологическая экспертиза, 2015, № 3, с. 53–76.

Пылевые выбросы промышленных предприятий – один из основных путей поступления в окружающую среду тяжелых металлов и других химических элементов. Формирование техногенных геохимических аномалий (в сущности, зон техногенного загрязнения) в атмосферном воздухе, в снежном покрове и почвах промышленно-урбанизированных территорий в значительной мере обусловлено поступлением в среду обитания именно промышленной пыли. К настоящему времени микроэлементный состав промышленной пыли, образующейся на различных предприятиях, и ее роль в формировании зон техногенного загрязнения, фиксируемых почвами, изучены достаточно полно [18, 20–24, 29–32, 38–40, 42–44, 46, 47, 56]. Валовый химический состав (макросостав) промышленной пыли и ее участие в формировании общего состава и физико-химических свойств городских почв, во многом определяющих их самоочищающую способность и значимость как важнейшего «депо» поллютантов изучены слабо. Изучение химического состава пыли, образующейся на предприятиях в ходе технологических процессов, позволяет также идентифицировать источники техногенного загрязнения, установить комплекс поллютантов, более точно оценить техногенную нагрузку на окружающую среду и возможный для здоровья людей экологический риск. Особо следует отметить, что сведения о химическом составе промышленной пыли необходимы для правильного выбора, проектирования и наладки и эксплуатации систем пылеулавливания, а также для решения вопросов утилизации и практического использования уловленной пыли.

С практической точки зрения при анализе путей поступления промышленной пыли в окружающую среду удобно различать [38, 39, 42, 44]:

- 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.);

- пылевые выбросы 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 [38, 39, 42]:

- 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), для изучения состава которой отбираются пробы так называемых «пылесметов», т. е. пыли, которая осаждается непосредственно в рабочих помещениях и в определенной мере отражает качество производственной среды (пыль с различных поверхностей производственных помещений – эстакад, столов, подоконников и т. п.

Исследования, выполненные в г. Саранске [38, 42, 44, 56], свидетельствуют о том, что в морфологическом отношении промышленная пыль достаточно разнообразна, что в существенной мере обусловлено спецификой технологических процессов, производственных операций, составом используемых на предприятиях материалов и сырья (табл. 1). Это во многом и определяет неоднородность химического состава пыли и особенности концентрирования в ней различных химических элементов. Обращает на себя внимание присутствие в составе промышленной пыли многих предприятий активных органических и минеральных сорбентов (сажа, пыль древесная, крахмала, коксовая, доломита, соды, извести, талька, цемента и др.).

Таблица 1

**Морфологическая характеристика промышленной пыли
различных предприятий г. Саранска**

Завод, предприятие	Характеристика пыли
Электроламповый	Пыль шихты, песка, доломита, соды, цемента, мраморной крошки, стекольная, древесная, металлическая, канифоли, вольфрама, оксидов калия и натрия
Специальных источников света и электровакуумного стекла	Пыль графита, доломита, соды, керамики, шамота, шихты, древесная, бумажная, кварцевая, абразивная, металлическая, стекольная
Кабельный	Аэрозоль свинца
Электровыпрямитель	Пыль стеклопластика, дробеструйная, наждачная, графитовая, древесная, сварочный аэрозоль, окрасочный аэрозоль, аэрозоли марганца, хрома, свинца
Силовой электроники	Органическая, аэрозоль марганца
Специальных силовых преобразователей	Древесная, стеклопластиковая, дробеструйная
Полупроводниковых изделий	Пыль микропорошка (карбид кремния), абрикосовой косточки
Приборостроительный	Металлическая, войлочная, древесная, пыль оргстекла, текстолита
Железобетонных конструкций	Неорганическая
Крупнопанельного домостроения	Цементная, керамзитового гравия
Теплоизоляционных материалов	Неорганическая, содержащая диоксид кремния, пыль минеральной ваты, коксовая, извести
Керамик	Органическая
Литейный	Пыль стали, угля, песка, древесная, формовочная, сварочный аэрозоль,
Механический	Металлическая
Инструментальный	Органическая и неорганическая, Ca(OH) ₂ , аэрозоли марганца, алюминия, свинца
Медоборудования	Войлочная, текстолита, органическая, металлическая, абразивная
Автосамосвалов	Органическая, аэрозоль краски, оксид Mn, сажа
Резинотехника	Сажа, древесная, резиновая, талька, ингредиентов
Тепловозоремонтный	Древесная, неорганическая, аэрозоль сварочный и краски, сажа
Авторемонтный	Органическая, неорганическая, металлическая, оксиды железа
Пивобезалкогольных напитков	Органическая
Мясокомбинат	Сажа
Биохимик	Древесная, стекольная, угольная, бумажная, пыль пенициллина

В большинстве случаев важнейшей особенностью общего состава промышленной пыли, образующейся на промышленных предприятиях г. Саранска, является высокое содержание в ней железа (табл. 2–4). Его повышенные количества в пыли некоторых предприятий могут быть обусловлены коррозией материалов систем очистки и вентиляции, нежели спецификой производственных процессов (например, вентиляционная пыль заводов Биохимик и пивобезалкогольных напитков). 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, тепловозоремонтный, авторемонтный, механический, литейный и особенно инструментальный). Пыль остальных предприятий характеризуется уровнями железа, близкими к его среднему содержанию в природных почвах и осадочной оболочке Земли, что, в частности, наиболее ярко проявлено для предприятий по производству строительных материалов, деятельность которых связана в основном 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. п., более высокие концентрации этого элемента закономерно характерны для технологической пыли. Для других предприятий прослеживается тенденция большей обогащенности железом пыли, осаждаемой в производственных помещениях (пылесметов), что может быть следствием поступления этого химического элемента в пыль при коррозии металлических конструкций и покрытий, при их истирании, при выполнении шлифовальных и т. п. производственных работ.

Таблица 2

Железо в технологической пыли предприятий г. Саранска [42]

Завод	Железо, %
Полупроводниковых изделий	10,51
Литейный	12,72
Механический	12,86
Инструментальный	56,40
Автосамосвалов	10,41
Медоборудования	29,20
Тепловозоремонтный	38,00
Авторемонтный завод	30,30
Резинотехника	1,68
Крупнопанельного домостроения	3,63
Керамик	3,42
Биохимик	3,70
Пивобезалкогольных напитков	0,14
Котельная	8,06
Типография	5,52
<i>Среднее</i>	<i>15,10</i>
Фоновые почвы	4,00
Осадочная оболочка Земли [33]	3,44

Промышленная пыль также отличается от природных почв и осадочных пород содержаниями CaO и MgO. Как правило, концентрации указанных оксидов в промышленной пыли намного больше, нежели в почвах, но заметно меньше, чем в осадочной оболочке. Это находит отражение в значениях показателей степени кальцитонности и степени доломитонности. Так, по сравнению с природными (фоновыми) почвами пыль большинства предприятий отличается пониженной степенью доломитонности и повышенной степенью кальцитонности. 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. Закономерное исключение составляет пыль предприятий по производству строительных материалов. Так, в пыли заводов крупнопанельного домостроения

нельного домостроения и теплоизоляционных материалов установлены более высокие уровни оксида кальция, а в пыли завода теплоизоляционных материалов, кроме того, повышенные количества оксида магния. Это, очевидно, отражает особенности состава перерабатываемых на этих предприятиях сырьевых материалов. Показательны данные, характеризующие средний состав пыли, выбрасываемой в атмосферу промышленными предприятиями г. Ярославля: CaO – 37,5%, SiO₂ – 26, Fe₂O₃ – 14,3, K₂O – 10,8, MgO – 3,5%, 7% – прочие компоненты [19]. Как видим, ведущее значение здесь имеет оксид кальция, велика также роль соединений железа и калия; заметно (по сравнению с природными почвами и осадочными породами) понижено содержание кремнезема.

Таблица 3

Химический состав вентиляционной пыли предприятий г. Саранска, % [42]

Завод	Fe	CaO	MgO	CaO/MgO	MgO/CaO
Электроламповый	0,70	9,02	4,08	1,60	0,63
Специальных силовых преобразователей	3,36	7,95	2,27	2,50	0,40
Литейный	6,15	0,99	0,44	1,70	0,60
Механический	2,34	2,83	2,35	0,90	1,14
Тепловозоремонтный	4,64	4,97	0,73	4,9	0,21
Крупнопанельного домостроения	3,82	21,28	2,84	5,4	0,19
Теплоизоляционных материалов	3,48	17,03	9,45	1,3	0,77
Биохимик	29,57	6,24	1,00	4,50	0,22
Консервный	2,48	3,06	0,54	4,74	0,21
Типография	1,00	8,05	0,48	12,20	0,08
<i>Среднее</i>	5,75	8,14	2,42	3,97	0,45
Фоновые почвы	4,00	0,47	0,70	0,48	2,07
Осадочная оболочка Земли [33]	3,44	13,2	3,4	2,80	0,36

Таблица 4

Химический состав пылесметов из производственных помещений предприятий г. Саранска, % [42]

Завод	Fe	CaO	MgO	CaO/MgO	MgO/CaO
Специальных силовых преобразователей	14,2	6,65	1,17	4,10	0,24
Литейный	2,79	1,15	0,72	1,14	0,88
Механический	5,90	4,56	1,57	2,10	0,48
Инструментальный	12,40	10,10	0,89	8,20	0,12
Автосамосвалов	22,0	7,75	1,18	4,80	0,21
Тепловозоремонтный	14,00	7,00	1,10	4,60	0,22
Теплоизоляционных материалов	2,78	12,90	4,81	1,90	0,52
Керамик	2,68	1,64	1,48	0,80	1,25
Стройтранс	3,28	12,00	2,20	3,90	0,26
Автотранспортное предприятие-1	2,67	4,24	1,45	2,10	0,47
Автотранспортное предприятие-2	9,40	4,38	1,72	1,90	0,53
Биохимик	3,43	8,55	0,63	10,00	0,10
Консервный	6,00	14,70	4,31	2,50	0,41
Мясокомбинат	3,13	15,80	7,50	1,50	0,66
Хладокомбинат	1,12	2,53	0,43	4,10	0,24
Котельная	6,80	11,50	2,54	3,20	0,31
Горводканал	1,88	27,9	1,15	17,5	0,06
Типография	11,70	14,10	3,70	2,70	0,37
<i>Среднее</i>	7,01	9,30	2,14	4,28	0,41
Фоновые почвы	4,00	0,47	0,70	0,48	2,07
Осадочная оболочка Земли [33]	3,44	13,2	3,4	2,80	0,36

Обогащенность пыли, осаждаемой в производственных помещениях (пылесметов) оксидом кальция на многих предприятиях может быть связана с поступлением в состав пыли материала искусственных покрытий стен (известь, побелка, краски и пр.). Но, безус-

ловно, важное значение имеют характер и особенности технологических процессов и производственных операций, что неплохо демонстрируется данными табл. 5, из которых можно сделать вывод о существенной неоднородности (даже в пределах одного предприятия) химического состава пыли в зависимости от ее вида и места образования. Это проявляется в различных содержаниях в пыли железа, оксидов кальция и магния.

Таблица 5

**Распределение Fe, CaO и MgO в промышленной пыли
различных предприятий г. Саранска, % [42]**

Завод (пыль)	Цех	Fe	CaO	MgO
Крупнопанельного домостроения (технологическая)	Керамзитового гравия	6,30	–	–
	Бетоносмесительный-1	2,39	–	–
	Бетоносмесительный-2	2,94	–	–
Крупнопанельного домостроения (вентиляционная)	Керамзитового гравия	5,27	1,86	4,42
	Бетоносмесительный-1	2,36	40,70	1,26
Электроламповый (технологическая)	№ 8	0,98	–	–
	№ 14	1,38	–	–
Электроламповый (вентиляционная)	Инструментальный	0,49	0,96	0,23
	Столярный	0,94	7,70	0,62
	Обработки доломита	0,68	18,40	11,4
Типография	Высокой печати	0,94	–	–
	Линотипный	10,1	–	–
Полупроводниковых изделий (технологическая)	№ 12	33,4	–	–
	№ 18	6,95	–	–
Инструментальный (технологическая)	Кузнечный	55,00	–	–
	Циклон	57,8	–	–
Тепловозремонтный (вентиляционная)	№ 1	0,60	1,01	0,14
	Окраски	0,17	8,10	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, данные, полученные при изучении промышленной пыли на предприятиях г. Саранска, свидетельствуют о том, что технологическая и в определенной мере вентиляционная пыль заводов, на которых широко используются процессы механической обработки металлов, может быть охарактеризована как пыль «железистых» пород («железистая пыль»). Пыль других предприятий в большей мере представляет собой смешанное образование, характеризующееся относительно высокой кальцитонностью и пониженной доломитонностью («известковистая пыль»), значения показателей которых в общем случае достаточно близки аналогичным модулям, рассчитанным для осадочных пород Земли. В каждом конкретном случае достаточно специфичен состав пылесметов, что часто определяется значимостью для его формирования процессов и явлений, напрямую не связанных с основными технологическими процессами.

В табл. 6 систематизированы данные по морфологической характеристике пыли различных производств, приведенные в [26, 27]. Обращает на себя внимание достаточно специфичные в каждом случае морфологический облик и дисперсный состав пыли. Это отражается и на разнообразии ее химического состава (табл. 7). Главной особенностью пыли, образующейся на металлургических предприятиях (включая обжиг колчедана), является невысокое содержание кремнезема и высокий уровень железа. Пыль алюминиевого производства закономерно отличается высоким содержанием глинозема и (печь спекания бокситной шихты) – Na_2O , пыль цементных заводов – высоким содержанием CaO . Кроме того, по данным [26, 27], пыль, образующаяся при выплавке стали в электродуговой печи характеризуется очень высокими содержаниями Cr_2O_3 (8,7%), NiO (1,9%), V_2O_5 (2,2%) и TiO_2 (2,5%), при выплавке меди в конверторе – PbO_2 (24,2%), ZnO (24,4%) и CuO (0,3%),

пыль от мартеновской печи содержит P_2O_5 (0,18%), пыль от печи обжига магнезита – фтор (2,5%), пыль сушильного барабана апатитнефелинового производства – P_2O_5 (16%).

Таблица 6

Морфологическая характеристика промышленной пыли различных производств

Производство	Характеристика частиц пыли	Место отбора
Выплавка стали в электродуговой печи	Частицы в основной массе овальной и зернистой формы. Среди частиц > 15 мкм встречаются крупные пористые частицы черного цвета, а среди частиц < 2 мкм – частицы волокнистой и пластинчатой формы желтого, зеленовато-коричневого и желто-коричневого цвета. В общей массе цвет пыли темно-коричневый.	Бункер рукавного фильтра
Шахтная вагранка открытого типа литейного цеха	Частицы > 50 мкм черные, пористые, в отраженном свете с металлическим блеском. Частицы размером < 50 мкм в проходящем свете в основном темно-серые и коричневые, неправильной формы с острыми гранями. В общей массе цвет пыли коричневый.	–
Бессемеровский конвертор литейного цеха	Частицы пыли неправильной формы; при размере > 10 мкм с острыми гранями, при меньшем размере оплавлены. В общей массе цвет пыли черный.	Газоход конвертора
Печь спекания бокситной шихты алюминиевого завода	Частицы > 10 мкм кристаллической формы со сглаженными гранями. Частицы < 5 мкм волокнистой и пластинчатой формы, светлых тонов.	Газоход перед системой газоочистки
Печь кальцинации алюминиевого завода	Основная масса частиц имеет форму округленных зерен. Среди частиц < 5 мкм встречаются частицы пластинчатой формы. Цвет пыли белый.	Газоход перед системой газоочистки
Выплавка меди в конверторе	Пыль мелкодисперсная, большинство частиц волокнистой и ветвистой формы, образующие лучистые агрегаты. Цвет пыли белый.	Бункер электрофильтра
Литейный двор металлургического завода	Большая часть частиц > 10 мкм имеют форму листочков, а частицы < 10 мкм – форму зерен. Крупные частицы в отраженном свете блестящие серые, частицы < 15 мкм коричневого цвета. В общей массе цвет пыли черный.	Сметы с металлоконструкций
Домна доменного цеха металлургического завода	Оплавленные частицы неправильной формы с развитой поверхностью. Большинство частиц в проходящем свете темных оттенков с блеском. Мелкие частицы (размером до 3 мкм) коричневого цвета с включением светлых частиц игольчатой и чешуйчатой формы. В общей массе цвет пыли черный.	Бункер рукавного фильтра
Мартеновская печь	Частицы с развитой поверхностью, зернистой и пластинчатой формы с включением мелких волокнистых частиц. Окраска большинства частиц > 10 мкм густо коричневая, почти непрозрачная. Более мелкие частицы в проходящем свете имеют окраску от желтовато-красной до коричневой. Пыль склонна к образованию агрегатов размером до 200 мкм.	Бункер электрофильтра
Вращающаяся печь обжига клинкера (мокрый способ производства цемента)	Частицы иглообразные, пластинчатые и в форме многогранников, склонны к агрегированию. В проходящем свете частицы имеют светлые тона. В общей массе цвет пыли бежевый.	Газоход перед электрофильтром
То же (сухой способ производства цемента)	Частицы неправильной формы с оплавленными гранями. Мелкие частицы пластинчатой и волокнистой формы склонны к образованию агрегатов.	Газоход перед электрофильтром
Обжиг колчедана в печи печного отделения сернокислотного завода	Частицы с развитой поверхностью, зернистой формы с включением мелких (< 1–2 мкм) волокнистых частиц от серого до светло-коричневого цвета. Более крупные частицы густо-коричневые. Пыль склонна к образованию агрегатов.	Газоход перед электрофильтром
Печь обжига магнезита	Частицы ветвистой, игольчатой формы; образуют крупные агрегаты в виде комков снега. В проходящем свете бесцветны.	Бункер электрофильтра
Пыль сушильного барабана апатитнефелинового производства	Частицы чешуйчатой и мелкозернистой формы. В проходящем свете в основном бесцветные с включением красноватых и серо-черных частиц.	Бункер электрофильтра

Химический состав промышленной пыли разных производств, % [26, 27]

Производство	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	S	ППП ¹	pH ²
Выплавка стали в электродуговой печи	15,7	30	1,6	–	–	9,1	0,8	0,8	–	–	3,2	6,0
Шахтная вагранка открытого типа	25,5	50,5	–	–	–	–	–	–	–	–	19,2 ³	7,0
Бессемеровский конвертор литейного цеха	5,8	67 ⁴	–	–	–	–	–	–	–	–	12,5 ³	7,0
Печь спекания бокситной шихты алюминиевого завода	3,2	5,7	22,2	2,5	0,7	–	24,0	2,2	0,7	–	13,8	7,0
Печь кальцинации алюминиевого завода	21,1	0,6	72,2	0,7	0,1	–	0,8	0,2	–	–	3,1	8
Выплавка меди в конверторе	–	0,2	0,1	3,3	1,0	–	–	–	27,8	–	–	–
Литейный двор металлургического завода	4,1	67,4 ⁵	0,33	3,8	0,2	0,2 ⁶	–	–	–	0,15	21,7	7,6
Домна доменного цеха металлургического завода	6,2	37,8	1,65	8,1	1,2	0,15	–	–	–	–	37,5	7,5
Мартеновская печь	0,3	80,2 ⁵	–	1,59	1,04	0,52 ⁶	–	3,32	–	4,07	–	4,5
Вращающаяся печь обжига клинкера (мокрый способ производства цемента)	15,0	2,3	4,7	39,2	2,2	–	0,13	2,0	1,5	–	33,3	9
То же (сухой способ производства цемента)	17,6	–	4,1	40,6	1,4	–	–	–	–	–	34,8	9
Обжиг колчедана	13	72,9 ⁷	3,3	1,6	1,7	–	0,3	0,3	4,7	–	–	3
Печь обжига магнезита	1,1	1,6	0,5	1,3	78,9	–	–	–	6,0	–	7,7	8,2
Пыль сушильного барабана апатитонелефинового производства	3,7	1,7	–	4,8	0,4	–	–	–	–	–	–	7
Кларк осадочных пород [33]	62,20	3,73	14,38	6,33	2,85	–	1,22	3,05	–	–	5,58 ⁸	–

¹ Потери при прокаливании.

² Водной вытяжки.

³ Углерод.

⁴ Железо общее.

⁵ Сумма Fe₂O₃ + FeO (47,3 + 20,1).

⁶ MnO.

⁷ Сумма Fe₂O₃ + FeO (70 + 2,9).

⁸ Глинистые толщи Русской платформы [33].

В зависимости от химического состава пыль (и мокрые шламы, образующиеся при очистке отходящих газов) металлургического производства разделяются на три группы [34]: железосодержащие, получаемые при очистке газов доменного, агломерационного и сталелитейного производств и производстве окатышей; серосодержащие шламы, образующиеся при мокрой очистке агломерационных газов от оксидов серы; прочие (не содержащие железо) пыль и шламы, к числу которых относятся пыль известкообжиговых печей, пыль и шламы коксохимического, огнеупорного, ферросплавного производств, графитсодержащая пыль миксерных отделений сталеплавильных цехов и т. д. Многие разновидности промышленной пыли металлургических производств состоят из частичек железа, топлива, флюсов, присадок, но в целом характеризуются широкими диапазонами химических свойств, что вызвано как различием исходного сырья, так и спецификой технологического процесса (табл. 8–11). Для металлургического завода полного цикла, выплавляющего около 65 млн. т стали в год, характерно поступление в атмосферу ежедневно до 300 т пыли [12]. Пыль, выбрасываемая металлургическим заводом, на 50–90% (в зависимости от цеха) состоит из оксидов железа, на 1–10% из CaO и MgO. Пыль известково-доломитного цеха закономерно содержит высокие количества CaO (в среднем более 40%) и MgO (около 30%), а также несколько процентов алюминия, фосфора, кремния. В составе

колошниковой пыли металлургического производства (Нижнетагильский металлургический комбинат) присутствовали гематит, маггемит, магнетит, вюстит, гидrogематит, госсарит, байерит, анатаз, дистен, сфен [13]. Пыль, образующаяся в электросталеплавильном производстве, обогащена оксидами металлов [51, 54, 55]. Атмосферная пыль в окрестностях медноникелевого завода в Ботсване содержала кварц, пирротин, халькопирит, альбит, джарлеит [49].

Таблица 8

Химический состав металлургической пыли [17]

Компонент	Металлургическая пыль, пределы, %	Пыль, производство ферросплавов, завод в Японии, %	Кларк осадочных пород, % [33]
Железо	36,6-69	9	3,33
CaO	0,86-6,3	6	6,33
Магний	0,08-1,8	–	1,34
Кремний	0,19-2,03	17 (SiO ₂)	23,8
Al ₂ O ₃	–	5	14,38
K ₂ O+Na ₂ O	–	2	4,27
Углерод	0,23-1,7	8	1,0
Сера	0,02-0,73	–	0,3
Фосфор	0,29-0,82	0,06	0,077
Марганец	0,34-5	30	0,067
Цинк	0,4-18,3	–	0,008
Свинец	0,06-2,9	–	0,0002

Таблица 9

Химический состав частиц, выбрасываемых агломерационными установками металлургических заводов, % [5]

Компонент	Завод А	Завод В	Завод С	Кларк осадочных пород, % [33]
Fe ₂ O ₃	33,9	11,7	28,0	3,73
CaO	7,1	10,9	15,0	6,33
MgO	5,3	0,4	2,0	2,85
K ₂ O	5,2	0,6	8,1	3,05
SiO ₂	4,8	2,4	4,6	62,20
Al ₂ O ₃	2,6	4,3	2,5	14,38
Na ₂ O	1,6	0,8	0,0	1,22
ZnO	0,4	0,1	0,0	–
MnO	0,2	0,1	0,0	0,124
Хлориды	8,5	3,0	8,8	0,048
Сульфаты	7,5	16,5	2,1	–
Углеводороды	7,4	36,9	0,0	–
Другие	1,6	0,0	0,0	–
Потери при прокаливании	13,9	12,3	28,9	5,58 *

* Глинистые толщи Русской платформы [33].

Таблица 10

Химический состав частиц при работе ферросплавных печей [5]

Компонент, %	Тип печи и продукт		
	Закрытая, SiMn	Открытая, FeMn	Закрытая, HCFeCr
SiO ₂	15,68	25,48	20,96
FeO	6,75	5,96	10,92
MgO	1,12	1,03	15,41
CaO	–	2,24	–
MnO	31,35	33,60	2,84
Al ₂ O ₃	5,55	8,38	7,12
Cr ₂ O ₃	–	–	29,27*
ППП ** при 1000°C	23,25	–	–

* Частицы из открытой печи содержат меньшее количество оксидов хрома.

** Здесь и далее в таблицах – потери при прокаливании.

**Химический состав аэрозолей из дуговой сталеплавильной электропечи
в отсутствии подавления выбросов, % [5]**

Процесс	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃ *	Al ₂ O ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	SO ₃
Плавление	9,77	3,39	0,45	65,75	0,31	10,15	1,32	2,08
Окисление примесей	0,76	6,30	0,67	66,00	0,17	5,81	1,32	6,00
Продувка кислородом	2,42	3,10	1,83	65,37	0,14	9,17	0,86	1,84
Обработка	Следы	35,22	2,72	26,60	0,45	0,70	0,53	7,55

* Содержание железа было определено как полное количество железа и железа, перешедшего в Fe₂O₃.

Не менее специфичен состав промышленной пыли, образующейся на заводе по производству ацетальдегида (табл. 12). Пыль этого предприятия отличается от осадочных пород резко пониженным содержанием кремнезема, глинозема, высокими концентрациями оксидов кальция и железа (отделение гидратации), намного более высокими значениями показателя потерь при прокаливании, что во многом обусловлено высоким содержанием CO₂ карбонатов и, отчасти, присутствием органических веществ.

Таблица 12

**Химический состав промышленной пыли завода «Карбид»
(г. Темиртау, Центральный Казахстан, производство ацетальдегида) [44]**

Компонент	Градирия	Отделение гидратации	Кларк осадочных пород [33]
SiO ₂	10,14	25,52	62,20
TiO ₂	0,17	0,19	0,62
Al ₂ O ₃	3,00	3,36	14,38
Fe ₂ O ₃	0,94	9,03	3,73
FeO	1,80	1,44	2,24
MnO	0,09	0,04	–
CaO	31,60	13,52	6,33
MgO	1,40	0,20	2,85
Na ₂ O	0,40	1,10	1,22
K ₂ O	0,40	0,85	3,05
P ₂ O ₅	0,43	0,20	0,15
H ₂ O ⁻	3,14	–	3,47
S _{общая}	0,41	4,40	0,58
ППП	44,50	28,75	5,58 *
CO ₂	22,0	8,80	5,78
Фтор	0,17	0,08	0,03

* Глинистые толщи Русской платформы [33].

Одной из основных стадий современного промышленного получения алюминия является производство чистого глинозема сухим щелочным способом, которое сопровождается образованием значительных количеств пыли на всех технологических этапах [4]. По оценкам автора цитируемой работы, в составе осаждаемой пыли (от глиноземного производства) заметно преобладает CaO (до 37%), присутствуют SiO₂ (в среднем 22%), Al₂O₃ (12,5), Fe₂O₃ (3), Na₂O (2,5), K₂O (1%), минералы кварц, кальцит, ларнит, которые трудно растворимы. Отметим, что по данным [50], основу пыли цементного производства составляют CaO (39,4–53,1%) и SiO₂ (от 7,1 до 27,9%), в отдельных пробах наблюдались высокие концентрации K₂O (до 11,2%) и серы (до 7,8%). В пыли Зыковского керамзитового завода (Красноярский край) обнаружено повышенное содержание Fe₂O₃, в пыли Ачинского керамзитового завода – повышенная концентрация аморфной фазы, в пыли Красноярского цементного завода присутствовал кристаллический кремния в виде отдельной фазы, а также наблюдались повышенные концентрации CaO и пониженные содержания SiO₂ [7], что, очевидно, типично для цементного производства как мокрым, так и сухим способом (см. табл. 7). Обращают на себя внимание высокие значения показателя потерь при прокаливании, что, судя по всему, во многом обусловлено повышенными содержаниями CO₂

карбонатов. Использование силикатов в электротехнической промышленности предопределяет образование на заводах данной отрасли пыли, в состав которой входят частицы асбеста, талька, слюд (мусковит, флогопита, биотита; искусственные слюды), каолина, карборунда, а также частиц керамических и керамико-металлических (керметов) материалов и искусственных минеральных волокон, особенно силикатного и алюмосиликатного состава стекловидной структуры [2, 45].

В ходе технологического процесса получения льноволокна на льноперерабатывающих предприятиях образуется до 75% отходов от объема используемого сырья, из которых 0,5–1,5% приходится на долю пыли, находящейся во взвешенном состоянии и удаляемой из помещений вентиляционной системой [35]. По фракционному составу пылевые отходы производства льноволокна разнородны. Различают две основные фракции: а) отходы, включающие обрывки волокна и костру с размерами частиц больше 400 мкм (до 30% общей навески); б) собственно пыль, размером меньше 400 мкм (70% общей навески), из этого до 70–80% частиц с размером менее 160 мкм, при этом до 80% частиц с размером менее 70 мкм имеют органическое происхождение. Влажность пыли 6,24%, зольность 23,2%. Элементарный состав органической части пыли таков: углерод – 56,8%, водород – 7,63, азот – 3,16, кислород – 31,75. Состав минеральной части, %: SiO_2 – 55,84; Al_2O_3 – 10,87; CaO – 10,66; Fe_2O_3 – 5,06; MgO – 3,16; K_2O – 4,98; FeO – 0,4; P_2O_5 – 2,84; Na_2O – 1,11; MnO – 0,26; TiO_2 – 0,72. Как видим, пыль (по сравнению с природными почвами) заметно обогащена оксидами кальция, алюминия, железа и магния.

Важным источником поставки пыли в атмосферу многих промышленно-урбанизированных районов являются тепловые электростанции. В табл. 13 систематизированы данные по морфологической характеристике пыли различных производств, приведенные в [25]. Обращает на себя внимание достаточно специфичные в каждом случае морфологический облик и дисперсный состав пыли, присутствие аморфных и волокнистых частиц, что, судя по всему, во многом и определяет разнообразие химического состава летучей золы, которая отличается от осадочных пород (и природных почв) обычно меньшим содержанием кремнезема и повышенным количеством глинозема (табл. 14). Специфичен состав золы от сжигания мазута и древесных отходов. На предприятиях, осуществляющих переработку и использование горючих сланцев, выбросы пыли в атмосферу осуществляются через дымовые трубы камерных печей, заводских котельных и ТЭЦ, вентиляционные установки заводских помещений, факельные установки, с поверхности овалов и мест складирования отходов [41]. Термическая переработка горючих сланцев, особенно сжигание пылевидных сланцев на электростанциях (при температуре 1300–1400°C), сопровождается образованием значительных количеств летучей золы, которая неоднородна по гранулометрическому и химическому составу (табл. 15).

Таким образом, практически все разновидности промышленной пыли большинства предприятий характеризуются повышенными содержаниями железа, оксидов кальция, иногда оксидов магния и существенно пониженными концентрациями кремнезема. Поступление промышленной пыли в атмосферу и ее последующее осаждение на подстилающую поверхность (в первую очередь, на снежный покров и почвы) обуславливает изменение валового химического состава верхнего слоя городских почв. Кроме того, ее осаждение, с одной стороны, способствует ожелезнению почв, практически не влияющего на щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия миграции химических элементов; с другой – приводит к карбонатизации почв, к увеличению их щелочности, насыщению поглощающего комплекса основаниями, изменению буферности, увеличению поглотительной способности, к связыванию металлов в карбонаты и снижению их подвижности [3, 36]. Приводимые выше данные свидетельствуют о том, что в большинстве случаев промышленная пыль характеризуется значениями pH более 7, т. е. будет способствовать увеличению щелочности почв. Например, в пыли, поступающей от выработанного известнякового карьера, присутствуют оксиды кальция, магния и калия, основных компонентов известняков [6].

Морфологическая характеристика летучей золы тепловых электростанций [25]

Летучая зола от сжигания	Характеристика частиц пыли	Место отбора пробы
эстонских сланцев	Частицы неправильной формы с оплавленными гранями, с включениями блестящих сферических частиц размером 5–30 мкм. Мелкие частицы в проходящем свете серовато-белые, пластинчатые. Большинство частиц размером до 30 мкм бледно-розового цвета. В общей массе цвет пыли бежевый.	Бункер электрофильтра, Прибалтийская ГРЭС
угля Назаровского месторождения	Частицы овальной и сферической формы серого цвета, мелкие частицы до 5–10 мкм и грубые > 50 мкм неправильной формы с острыми гранями. Мелкие частицы – светло-серого, грубые – темно-коричневого цвета. В общей массе цвет пыли серо-коричневый.	Бункер электрофильтра, Новосибирская ТЭЦ-3
угля Ирша-Бородинского месторождения	Частицы сферической и овальной формы, имеют включения крупных (> 30 мкм) частиц неправильной формы, аморфной структуры, черного и коричневого цвета. В общей массе цвет пыли серо-коричневый	Бункер электрофильтра, Красноярская ТЭЦ-1
бурого угля Башкирского месторождения	Частицы сферической и овальной формы, с включением крупных (> 50 мкм) пористых частиц черного цвета. Сферические частицы полупрозрачные, блестящие, светлых тонов. В общей массе цвет пыли серый.	Газоход перед скруббером Вентури, Салаватская ТЭЦ
бурого угля Харановского месторождения	Частицы размером до 20–30 мкм в основной массе блестящие, сферические и овальные, прозрачные с бледно-голубым оттенком, с включением мелких светлых частиц неправильной формы. 10–15% частиц > 30 мкм, сферические, темно-коричневого цвета с развитой поверхностью. Частицы > 100 мкм в основном неправильной формы, пористые, черного цвета (недожог). В общей массе цвет пыли темно-серый.	Газоход перед электрофильтром
угля Гусиноозерского месторождения	Частицы пыли в основном сферической и овальной формы. Мелкие частицы – светло-серого цвета. Частицы грубые 20–30 мкм – темно-коричневого и черного цвета. Частицы > 100 мкм – неправильной формы с оплавленными краями. В общей массе цвет пыли темно-серый.	Газоход перед скруббером, Улан-Уденская ТЭЦ
угля Черемховского месторождения	Частицы пыли оплавлены, неправильной и овальной формы, с включением сферических частиц размером 5–30 мкм. Мелкие частицы – светло-серые, неправильной формы. Частицы грубые 100 мкм – темно-серого цвета, с пористой поверхностью. В общей массе цвет пыли серый.	Бункер электрофильтра, Иркутская ТЭЦ-1
угля Подмосковского бассейна	Частицы с оплавленными гранями, с включением частиц размером 5–40 мкм сферической формы, в проходящем свете полупрозрачных, блестящих, серого цвета. Частицы крупнее 40 мкм серого цвета, пластинчатой формы с оплавленными гранями. Встречаются частицы коричневого цвета, овальной формы. В общей массе пыль светло-серого цвета.	Газоход перед электрофильтром, Черепетская ГРЭС
угля марки «Г» Донецкого бассейна	Частицы сферической и овальной формы, имеются включения крупных (> 30 мкм) частиц неправильной формы, аморфной структуры, черного и коричневого цвета. В общей массе цвет пыли серо-коричневый.	Бункер электрофильтра, Запорожская ГРЭС
угля марки «ПЖ» Воркутинского месторождения	Большая часть частиц сферической формы. 30–40% частиц размером до 30 мкм – блестящие прозрачные шарики, бесцветные в отраженном свете. Мелкие частицы серовато-белые, пластинчатые и волокнистые. Среди частиц размером 30–40 мкм встречаются оплавленные частицы коричневого цвета с развитой поверхностью. Частицы > 100 мкм – черные, неправильной формы. В общей массе цвет пыли серо-коричневый.	Бункер батарейного циклона, Воркутинская ТЭЦ
угля Карагандинского бассейна	Частицы игольчато-волокнистой и овальной формы. В проходящем свете большая часть частиц светло-серого цвета, в отраженном – бесцветные; сферические частицы – темно-серые. Частицы > 50 мкм в основном коричневого и черного цвета. В общей массе пыль серого цвета.	Газоход перед электрофильтром, Черепетская ГРЭС
угля марки «СС» Нерюнгринского месторождения	Мелкие частицы овальной и волокнистой формы светлых тонов, с включением темных частиц. Частицы > 50 мкм в основном неправильной формы с острыми гранями, пористые, черные. В общей массе пыль темно-серого цвета.	Газоход перед воздухоподогревателем, Чуйманская ГРЭС
угля марки «Т» Кузнецкого бассейна	Частицы в основной массе сферической и овальной формы, с включением крупных (> 50 мкм) частиц черного цвета неправильной формы. Встречаются частицы сферической формы коричневого цвета. В общей массе пыль серого цвета.	Газоход перед электрофильтром, Черепетская ГРЭС
угля марки «СС» Экибастузского бассейна	Частицы в основном неправильной и игольчатой формы, с включением прозрачных сферических частиц (до 10–15 мкм) светлых тонов. В проходящем свете большинство частиц серого цвета, в отраженном – бесцветные и золотисто-желтые. В общей массе цвет пыли серый.	Газоход перед электрофильтром, Троицкая ГРЭС
высокосернистого мазута	Размер частиц пыли от 3–4 до 50 мкм. Частицы сферической и овальной формы, пористые (напоминают комки снега), черного цвета. Часть частиц покрыта налетом зеленого цвета. В общей массе цвет пыли черный.	Перед электрофильтром, Костромская ГРЭС
древесных отходов	Частицы черного цвета, частицы размером до 100–200 мкм волокнистой формы, крупные частицы имеют форму щепок.	Бункер циклона, котельная Архангельского ДОК

Химический состав летучей золы тепловых электростанций, % [25]

Летучая зола от сжигания	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	ППП ¹	pH ²
угля Березовского месторождения	31,4	11,8	11,5	33,5	4,7	0,6	0,7	0,6	2,2	1,6	10
угля Назаровского месторождения	34,6	11,6	9,3	32	8,1	–	0,3	0,6	2,4	0,9	10
угля Ирша-Бородинского месторождения	47,6	6,8	7,6	26,0	5,0	0,6	1,5	1,4	1,8	1,7	11,5
бурого угля Башкирского месторождения	50,5	12,4	3,1	20,6	2,2	–	2,0		3,3	2,2	7,5
бурого угля Харановского месторождения	43,7	19,5	5,25	14,5	2,9	0,80	2,1	0,9	1,9	9,3	7,6
угля Гусиноозерского месторождения	53,2	23	13,1	6,5	1,7	–	1,1	2,6	0,3	1,1	–
угля Черемховского месторождения	63,5	17,9	6,7	4,5	0,7	–	0,2	1,2	0,4	2,1	7,5
угля Подмосковного бассейна	51	32,1	7,4	3,6	0,7	0,4	0,7	1,7	1,2	0,6	5,5
угля марки «Г» Донецкого бассейна	51,4	18,6	14,2	3,4	1,7	1,0	0,6	0,7	3,9	2,4	6,0
угля Воркутинского месторождения	62,2	19,1	8,6	3,1	1,6	1,0	0,4	2,0	0,8	1,9	7,0
угля Карагандинского бассейна	57,7	24,8	3,8	3,0	3,5	–	0,6	1,4	0,48	3,6	7
угля Нерюнгринского месторождения	44,9	20,3	3,3	2,7	1,5	0,85	0,45	1,3	0,60	22,6	7,5
угля марки «Т» Кузнецкого бассейна	49,7	18	5,45	2,45	1,55	0,90	0,65	1,1	0,40	17,3	7,0
угля марки «СС» Экибастузского бассейна	64,4	22	4,6	1,5	0,4	1,1	0,3	0,65	0,6	3,4	7,0
высокосернистого мазута ³	1,5	5,2		–	–	–	–	–	5,7	80,1 ⁴	3,5
древесных отходов	25,1	3,0	0,9	2,7		–	1,1	1,6	0,5	64,3	9,0
Кларк осадочных пород [33]	62,20	14,38	3,73	6,33	2,85	0,62	1,22	3,05	–	5,58 ⁵	–

¹ Потери при прокаливании.² Водной вытяжки.³ Содержание V₂O₅ составляет 5,8%.⁴ Углерод.⁵ Глинистые толщи Русской платформы [33].

Таблица 15

Химический состав и физические свойства летучей золы, образующейся при сжигании прибалтийских сланцев, %

Показатель	Фракция, мм		
	Крупная (30–150)	Мелкая (15–30)	Мельчайшая (<15)
CaO	46–58	32–40	28–35
SiO ₂	20–28	30–36	30–35
Al ₂ O ₃	6–8	8–11	10–12
Fe ₂ O ₃	4–6	4–6	4–5
MgO	3–4	2,2–3	2,5–3
K ₂ O	1,5–2,5	2,5–4	4,6–6,5
Na ₂ O	0,10	0,2	0,2
ППП	1,7–3,0	1,4–2,3	1,0–2,7
Нерастворимый остаток, %	12–18	24–33	25–35
Гидравлический модуль	1,2–1,8	0,65–0,85	0,55–0,75
Удельная поверхность, см ² /г	500–1200	1800–2500	3200–5000

Длительное поступление подобной пыли привело к изменению реакции среды почвенного раствора на окраине карьера (рН = 7,3–7,5). На расстоянии 1 км от карьера она уже слабокислая (рН 6,5–6,7), что типично для природных почв данного района. Особенно негативно промышленные выбросы влияют на почвы с пониженным содержанием гумуса и органического вещества [14]. В тоже время пыль от сжигания высокосернистого мазута, некоторых (особенно бурых) углей, от мартеновских печей, образующаяся при выплавке стали в электродуговой печи и при обжиге колчедана способна увеличивать кислотность почв. 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%) [52]. Как видим, существенная часть частиц – явно техногенного происхождения. В составе пыли металлургического комбината, осажженной на почву в окрестностях г. Жуковице, присутствовали фрагменты битуминозных сланцев и шлака металлургических печей, борнит, халькопирит, гетит, халькозин, гематит, ковеллин, марказит, арсениды Ni-Co (раммельсбергит – саффорит), частицы металлических серебра, меди, железа, свинца и сплавов свинца, а также ильменит, магнетит, малахит, куприт, пирротит и др. [53].

Наличие в пределах города нескольких промышленных предприятий, дискретный характер поставки и распределения пыли в окружающей среде определяют высокую пространственную неоднородность химического состава верхнего слоя почв в пределах небольшого по площади участка территории, что редко наблюдается в естественных условиях (табл. 16, 17). Для городских почв характерно увеличение количества глинозема, соединений Fe, Ca, Mg, органического вещества, F и заметное уменьшение содержания кремнезема. Городские почвы часто содержат большое количество обменных катионов, среди которых преобладает кальций, и характеризуются высокой обогащенностью элементами питания растений (подвижными фосфором и калием). Существование в городах почв, развитых на привнесенных композитных материалах, еще более увеличивает пространственную гетерогенность почвенного покрова городских поселений [48]. В районах с существованием сезонов с устойчивым снежным покровом, последний по отношению к почве является своего рода промежуточной депонирующей средой и играет важную роль в трансформации форм нахождения химических элементов в поступающей пыли и в перераспределении поллютантов в период снеготаяния.

Таблица 16

Валовый химический состав верхнего горизонта городских почв, % [42]

Компонент	Местный фон	Территория г. Саранска				
		Жилой район «Светотехника»	Промзона СИС-ЭВС	Промзона СЭЛЗ	Вблизи завода «Резинотехника»	Вблизи ТЭЦ-2
SiO ₂	73,69	73,25	69,43	59,74	65,10	64,56
TiO ₂	0,54	0,42	0,47	0,76	0,56	0,59
Al ₂ O ₃	6,41	6,39	8,23	14,83	10,03	9,29
Fe ₂ O ₃	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 ₂ O	0,55	0,50	0,40	1,13	0,80	0,70
K ₂ O	1,48	1,43	1,26	2,36	2,31	1,98
P ₂ O ₅	0,14	0,14	0,09	0,19	0,27	0,18
H ₂ O ⁻	4,98	1,76	1,84	2,76	2,28	3,16
S _{общая}	< 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 ₂	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

Пробы почв, отобранные в пределах Томской промышленной агломерации, содержали частицы природного и техногенного происхождения [1, 37]. При рентгенографическом исследовании проб установлены кристаллические фазы, представленные преимущественно минералами природного происхождения. Наряду с минеральными формами природного происхождения установлены и тонкодисперсные рентгеноаморфные фазы, по внешнему виду похожие на сажистое вещество, причем плотность этой фракции была меньше, чем у воды. Исследования, выполненные вблизи Рефтинской ГРЭС, Средне-

уральского и Красноугольского медеплавильных заводов, показали, что техногенная (промышленная) пыль состоит из полиметаллических сферул (диаметром 0,005–0,12 мм) и частиц кварца (диаметром 0,03–0,06 мм) [28]. Попадая в почву, пыль становится дополнительным источником кальция, магния, железа и тяжелых металлов, которые существенно меняют химизм почв. Силикатная пыль является механическим поллютантом почв, что неблагоприятно сказывается на активности почвенной биоты. В культурных слоях и почвогрунтах Москвы, Санкт-Петербурга, Смоленска присутствуют такие аутигенные минералы, как карбонаты кальция (кальцит, люблинит, арагонит) и железа (сидерит), фосфаты железа (вивианит и его модификации), кальциевые фосфаты (курскит, подолит), сульфиды железа (пирит и марказит), сульфаты (гипс, полугидрат, ярозит), кристаллические формы оксидов и гидроксидов железа (гетит, гидрогетит, гематит, лепидокрокит и др.), халцедон (псевдоморфозы по органическим остаткам) и др. [8–11]. Многие из названных минералов несвойственны для изученной биоклиматической зоны и не встречаются в поверхностных породах и природных почвах соответствующих регионов. Безусловно, существенная часть указанных минералов может поступать и затем накапливаться в почвах в составе осаждающейся промышленной пыли. Установлено, что промышленная пыль оказывает негативное воздействие на зеленые насаждения. Особенно неблагоприятное действие на зеленые растения оказывает известковая пыль, поступающая в воздух от известково-доломитовых и магнезитовых карьеров, цементных заводов, плавильных производств (доменного, сталеплавильного) и представленная кальцитом CaCO_3 , магнезитом MgCO_3 , доломитом $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ [15, 16].

Таблица 17

**Химический состав верхнего слоя (0–10 см) почв
в окрестностях г. Темиртау (Центральный Казахстан), % [44]**

Компонент	Жилой район		Территория химического завода			Орошаемые почвы *		Фоновые зональные (каштановые) почвы
	Западный	Восточный	Юг	Центр	Север	I	II	
SiO_2	55,08	54,00	73,61	56,60	49,36	64,55	58,82	65,73
TiO_2	0,34	0,54	0,28	0,39	0,61	0,59	0,66	0,66
Al_2O_3	7,40	10,00	7,44	8,00	9,57	12,17	11,65	13,00
Fe_2O_3	0,87	4,10	1,46	2,33	3,18	3,98	4,83	3,06
FeO	2,37	1,44	2,16	0,86	1,51	1,44	1,22	1,80
MnO	0,09	0,12	0,09	0,10	0,12	0,11	0,18	0,16
CaO	12,46	6,54	3,86	11,55	8,36	1,52	1,98	2,65
MgO	0,90	1,90	0,80	1,00	1,40	1,70	1,80	2,30
Na_2O	1,20	1,20	1,35	1,10	1,05	1,40	1,45	1,00
K_2O	1,70	1,95	1,70	1,80	1,95	2,50	2,40	2,35
P_2O_5	0,13	0,17	0,17	0,13	0,15	0,14	0,33	0,11
H_2O	0,60	3,04	0,84	1,42	2,60	2,06	2,38	1,58
S	0,12	0,57	0,18	0,20	0,20	0,10	0,12	0,10
ППП	16,86	15,00	5,50	14,13	20,16	7,75	11,66	6,50
CO_2	8,58	3,08	1,98	7,26	4,62	0,66	0,66	1,72
Hg, мг/кг	2	1	100	400	150	0,07	0,78	0,02

* I – выше города; II – ниже города.

Таким образом, промышленная пыль многих предприятий отличается, прежде всего, повышенными, часто очень высокими содержаниями железа и оксидов кальция и существенно пониженными концентрациями кремнезема, характеризуется своеобразным минеральным составом. Ее поступление в атмосферу в составе пылегазовыбросов и последующее осаждение на подстилающие поверхности в конечном счете обуславливают изменение валового химического состава верхнего слоя почв, особенно в промышленно-урбанизированных зонах. Наличие в пределах города нескольких промышленных предприятий, дискретный характер поставки и распределения пыли в окружающей среде опре-

деляют высокую пространственную неоднородность валового химического состава верхнего слоя почв в пределах небольшого по площади участка территории, что не всегда характерно для естественных (природных, фоновых) условий. В общем случае для городских почв характерно заметное снижение содержания кремнезема и увеличение концентраций соединений железа, кальция, магния, иногда глинозема, органического вещества, фтора. Промышленная пыль, обогащенная железом и оксидами кальция, способствует, с одной стороны, ожелезнению городских почв, практически не влияющего на щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия миграции химических элементов, с другой – приводит к карбонатизации почв, к увеличению их щелочности, насыщению поглощающего комплекса основаниями, изменению буферности, увеличению поглощательной способности, к связыванию тяжелых металлов в карбонаты, снижению их подвижности и, в конечном счете, к формированию устойчивых зон техногенного загрязнения.

Литература

1. *Анненков А.Ф.* Состав и структура техногенных образований в снеговом покрове территории Томской «ГРЭС-2» // <http://www.tpu.ru/files/nu/ignd/section13-06.pdf>.
2. *Бессонов В.В., Янин Е.П.* Эколого-гигиенические аспекты использования силикатов в электротехнических материалах и изделиях // *Экологическая экспертиза*, 2004, № 4, с. 25–30.
3. *Глазовская М.А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
4. *Дронин Н.М.* Загрязнение природной среды глиноземным производством // *Влияние промышленных предприятий на окружающую среду*. – М.: Наука, 1987, с. 79–82.
5. *Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справ. изд.: Пер. с англ. Т. 2.* – М.: Металлургия, 1988. – 712 с.
6. *Зубарева О.Н., Перевозникова В.Д., Сергачев А.Н.* Влияние кальцийсодержащей пыли на свойства лесных фитоценозов в зоне разработки известняковых карьеров // II Междунар. симп. по биоиндикаторам «Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга», Сыктывкар, 17–21 сент., 2001. – Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2001, с. 71, 367-368.
7. *Кабанов А.А., Фабинский П.В.* Состав, адсорбционные свойства и направление утилизации газоочистных пылей // *Строительные материалы*, 2000, № 4, с. 32–33.
8. *Каздым А.А.* Аутигенные биоминералы культурных слоев и почвогрунтов // *Минералогия и жизнь: биоминеральные гомологии: Докл. 3 Междунар. семинара*. Сыктывкар, 5-8 июня, 2000. – Сыктывкар: Геопринт, 2000, с. 93–94.
9. *Каздым А.А.* Техногенные минералы культурных слоев города // *Минералогия техногенеза – 2001*. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2001, с. 40–61.
10. *Каздым А.А.* Культурный слой как один из видов техногенного литогенеза и его литогеохимические особенности // *Минералогия техногенеза – 2002*. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2002, с. 226–247.
11. *Каздым А.А.* Геоэкологические аспекты техногенных отложений древних и современных урбанизированных территорий: Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. – М.: РУДН, 2003. – 26 с.
12. *Кулуцков В.Н., Сирин А.А.* Прикладные аспекты изучения загрязнения снежного покрова выбросами черной металлургии // *География и рациональное природопользование*. – М., 1979, с. 38–40.
13. *Лотош В.Е.* Вещественный состав и физико-химические свойства колошниковой пыли и шламов доменного производства // *Известия вузов. Черная металлургия*, 1997, № 10, с. 3–5.

14. Манаенков И.В., Лобачева Г.К., Курно Н.И. О влиянии атмосферных выбросов промышленных предприятий на структуру почвенного покрова // Поволжский экологический вестник, 1997, № 4, с. 177–179.

15. 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.

16. Миронов О.А., Коробова Н.Л. Оценка действия известкового аэрозоля на сосны и ели г. Магнитогорска // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии. Сб. матлов 2-й Всерос. научн.-практ. конф. Челябинск, 16–18 сент., 2003. – Челябинск, 2003, с. 132–133.

17. Равич Б.М., Окладников В.П., Лыгач В.Н. и др. Комплексное использование сырья и отходов. – М.: Химия, 1988. – 288 с.

18. Ревич Б.А., Сает Ю.Е., Смирнова Р.С., Сорокина Е.П. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 112 с.

19. Рохмистров В.Л. Роль техногенеза в формировании почв урбанизированных территорий // Географические аспекты рационального природопользования в Верхневолжском Нечерноземье. – Ярославль: Пединститут, 1984, с. 10–26.

20. Сает Ю.Е. Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду // Геохимия ландшафтов и география почв. – М.: Изд-во МГУ, 1982, с. 84–100.

21. Сает Ю.Е., Башаркевич И.Л., Ревич Б.А. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 66 с.

22. Сает Ю.Е., Смирнова Р.С. Геохимические принципы выявления зон воздействия промышленных выбросов в городских агломерациях // Вопросы географии, 1983, № 120, с. 45–55.

23. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Смирнова Р.С. и др. Город как техногенный субрегион биосферы // Биогеохимическое районирование и геохимическая экология (Труды Биогеохимической лаборатории, т. 20). – М.: Наука, 1985, с. 133–166.

24. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

25. Скрябина Л.Я. Атлас промышленных пылей. Часть I. Летучая зола тепловых электростанций. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1980. – 50 с.

26. Скрябина Л.Я. Атлас промышленных пылей. Ч. II. Пыли предприятий металлургии, машиностроения и строительной промышленности. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1981. – 38 с.

27. Скрябина Л.Я. Атлас промышленных пылей. Часть III. Пыли предприятий химической и пищевой промышленности. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1982. – 46 с.

28. Смирнов Ю.Г., Кайгородова С.Ю. Особенности накопления и перераспределения техногенной пыли в тяжелосуглинистых почвах Среднего Урала // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: Тез. докл. Всерос. конф., посв. 75-летию Почвенного института им. В.В. Докучаева, Москва, 24–25 апр., 2002. – М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2002, с. 426 с.

29. Сорокина Е.П. Геохимическая структура техногенных ореолов промышленных зон различного типа // Новые области применения геохимических методов. – М.: ИМГРЭ, 1981, с. 8–13.

30. Сорокина Е.П. Картографирование техногенных аномалий в целях геохимической оценки урбанизированных территорий // Вопросы географии, 1983, № 120, с. 55–67.

31. Сорокина Е.П., Кулачкова О.Г., Онищенко Т.Л. Сравнительный геохимический анализ воздействия на окружающую среду промышленных предприятий различного типа // Методы изучения техногенных геохимических аномалий. – М.: ИМГРЭ, 1984, с. 9–20.

32. *Сорокина Е.П., Ревич Б.А., Саев Ю.Е., Смирнова Р.С.* Геохимические исследования для целей экологической оценки урбанизированных территорий // Инф. материал. Ч. 2. Проект МАБ-П. - М., 1984, с. 36–59.
33. Справочник по геохимии. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
34. *Толочко А.И., Славин В.И., Супрун Ю.М., Хайрутдинов Р.М.* Утилизация пылей и шламов в черной металлургии. – Челябинск: Металлургия, 1990. – 152 с.
35. *Чурбанова И.Н., Емельяно А.Н., Волков В.К., Васильев В.Б.* Создание оборотной системы водоснабжения мокрых пылеуловителей на льноперерабатывающих предприятиях // Рациональное использование воды в городском хозяйстве Москвы. – М.: Московский рабочий, 1989, с. 84–92.
36. Экогеохимия городских ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 336 с.
37. *Язиков Е.Г., Голева Р.В., Рихванов Л.П. и др.* Минералого-геохимический состав природно-техногенной составляющей почв Томской промышленной агломерации // Сибирский экологический журнал, 2006, № 3, с. 315–324.
38. *Янин Е.П.* Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). – М.: Диалог-МГУ, 1998. – 281 с.
39. *Янин Е.П.* Химические элементы в пылевых выбросах электротехнических предприятий // Медицина труда и промышленная экология, 2000, № 8, с. 24–27.
40. *Янин Е.П.* Распределение ртути в пылевых выбросах и почвах промплощадок предприятий Саранска // Медицина труда и промышленная экология, 2002, № 9, с. 44–47.
41. *Янин Е.П.* Экологические последствия добычи, переработки и использования горючих сланцев // Научные и технологические аспекты охраны окружающей среды, 2002, № 5, с. 2–68.
42. *Янин Е.П.* Промышленная пыль в городской среде (геохимические особенности и экологическая оценка). – М.: ИМГРЭ, 2003. – 82 с.
43. *Янин Е.П.* Экологическая геохимия и проблемы биогенной миграции химических элементов 3-го рода // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы (Труды Биогеохимической лаборатории, т. 24). – М.: Наука, 2003, с. 37–75.
44. *Янин Е.П.* Промышленная пыль (разновидности, источники, химический состав) // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2004, № 6, с. 2–107.
45. *Янин Е.П.* Тальк в окружающей среде (эколого-гигиенические аспекты практического использования) // Экологическая экспертиза, 2004, № 4, с. 20–25.
46. *Янин Е.П.* Кадмий в пылевых выбросах промышленных предприятий и его роль в загрязнении производственной и окружающей среды // Медицина труда и промышленная экология, 2006, № 9, с. 1–5.
47. *Янин Е.П.* Особенности распределения химических элементов в почвах промышленных зон // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2009, № 9, с. 62–69.
48. *De Kimpe C.R., Morel J.-L.* Urban soil management: A growing concern // Soil Sci., 2000, 165, № 1, p. 31–40.
49. *Ekosse G., van den Heever D.J., de Jager L., Totolo O.* Environmental chemistry and mineralogy of particulate air matter around Selebi Phikwe nickel–copper plant, Botswana // Minerals Engineering, 2004, 17, p. 349–353.
50. *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.
51. *Machado A.T., Valenzuela-Diaz F.R., Souza de C.A.C., Andrade Lima de L.R.P.* Structural ceramics made with clay and steel dust pollutants // Applied Clay Science, 2011, v. 51, p. 503–506.
52. *Mackay A.W., Long X., Rose N.L., Battarbee R.W.* New approaches to characterizing urban air particles in central London // J. Environ. Sci., 1999, 11, № 3, p. 367–372.

53. *Muszer A.* Mineralogical characteristics of metallurgical dust in the vicinity of Głogów // *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 2004, v. 38, p. 329–340.
54. *Rizescu C.-Z., Bacinschi Z., Stoian E.-V., Poinescu A.* Characterization of steel mill electric-arc furnace dust // <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2010/Tunisia/WWAI/WWAI-25.pdf>.
55. *Sofilić T., Novosel-Radović V., Cerjan-Stefanović Š., Rastovčan-Mioč A.* The mineralogical composition of dust from an electric arc furnace // *Materiali in Tehnologije*, 2005, v. 39, № 5, p. 149–154.
56. *Yanin E.P.* *Electrical Engineering Industry and the Urban Environment (man-made pollution and ecological effects)*. – Moscow: Dialog-MGU Publ., , 1998. – 37 p.