

Моделирование процесса пылеобразования при проведении работ по ликвидации накопленного экологического ущерба

*А. В. Кошелев**, *Ю. А. Елеев*, *В. Ф. Головков*, *В. В. Афанасьев*

Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт органической химии и технологии», Москва, Россия,
*e-mail: dir@gosniiokht.ru

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

Аннотация – Исследована способность к пылеобразованию различных материалов в условиях, имитирующих проведение работ на объектах накопленного экологического ущерба, в частности, утилизации зданий и сооружений, в которых осуществлялась производственная деятельность, а также реабилитации прилегающих территорий. В связи с тем, что пыль реабилитируемых техногенных объектов может содержать остаточные количества стойких загрязнителей, она представляет реальную опасность для человека, так как даже при их содержании на уровне ПДК могут проявляться так называемые эффекты сверхмалых доз. Изучено распределение образующейся пыли по дисперсности, в том числе с учетом частиц размером менее 5 мкм, которые наиболее активно улавливаются человеком при дыхании и способны проникать в альвеолы легких. Установлено, что для большинства исследованных строительных материалов и видов грунта доля образования пыли с фракцией частиц размером менее 5 мкм достаточно высока, по способности к образованию этой фракции пыли строительные материалы располагаются в следующем ряду: влажный песок > сухой песок > суглинок > сухой кирпич > бетон > асфальт.

Ключевые слова: источники пылеобразования, накопленный экологический ущерб, экологическая реабилитация, пылеподавление.

Modeling of Dust Formation During Elimination of Accumulated Environmental Damage

*A. V. Koshelev**, *Yu. A. Yeleyev*, *V. F. Golovkov*, and *V. V. Afanas'ev*

Federal State Unitary Enterprise “State Research Institute of Organic Chemistry and Technology”,
Moscow, Russia,*e-mail: dir@gosniiokht.ru

Received October 14, 2019

Abstract – The ability of dust formation for a variety of materials has been investigated in conditions simulating operational procedures at the objects of accumulated environmental damage, in particular, during disposal of buildings and installations used previously for manufacturing activities as well as in the process of rehabilitation of the surrounding areas. Taking into consideration the fact that the dust formed at the rehabilitated industrial facilities may contain residual amounts of persistent pollutants, this dust can pose a real threat for human health given the fact that even at such pollutants presence at MPC level they can exhibit a so-called ‘ultra-low dose’ effect. We have studied the distribution of generated dust as a function of degree of dispersion, including the particle size smaller than 5 microns which are the most actively caught by human lungs when breathing and which are able to penetrate into the air vesicles. The most kinds of the examined construction materials and types of soil are found to have a high enough level of dust fraction with the particle size smaller than 5 microns. The materials can be placed in the following order basing on their ability to form this fraction of dust: wet sand > dry sand > clay > dry brick > concrete > asphalt.

Keywords: sources of dust, accumulated environmental damage, environmental remediation, dust suppression.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с «Основами государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» и Федеральной целевой программой «Ликвидация накопленного экологического ущерба» на 2014–2025 годы, задачи по экологической реабилитации крупнейших техногенных объектов страны определены в качестве первоочередных.

Для их выполнения потребуется разработка технологических решений по утилизации зданий и сооружений, в которых осуществлялась производственная деятельность, а также реабилитации прилегающих территорий. Однако любые работы по переоборудованию или разделке зданий, выемке грунта, транспортировке строительных отходов и грунта непременно связаны с пылеобразованием. Учитывая, что пыль реабилитируемых техногенных объектов может содержать остаточные количества стойких загрязнителей (СЗ), проблема пылеподавления является вдвойне актуальной [1]. При этом количество содержащегося в пыли СЗ особого значения иметь не будет, так как при длительном воздействии пыли, даже содержащей СЗ на уровне ПДК, могут проявляться так называемые эффекты сверхмалых доз [2, 3].

Очевидно, что при разработке перечня необходимых мероприятий в первую очередь необходимо учитывать источники пыли и количество пыли, образующейся при проведении тех или иных операций.

Если источники пыли обусловлены особенностями объекта и видом планируемых работ, и их определение, как правило, трудности не представляет, то факторы, влияющие на процесс образования и ее количество – величина со многими неизвестными.

Известны исследования по анализу источников пылеобразования для фаянсового производства, которые обобщены в работе [4]. По данным авторов этой работы, в узлах перегрузки шамота запыленность пылегазового потока составляет $4,7 \text{ г/м}^3$. При обработке пресс-порошка уровень запыленности пылегазового потока у вращающихся печей составляет $7,5\text{-}15,9 \text{ г/м}^3$, у ленточных транспортеров – $1,9\text{-}4,5 \text{ г/м}^3$, у элеватора – $8,5\text{-}26,2 \text{ г/м}^3$.

Приведенные выше примеры дают представление об уровне запыленности, которая может сопровождать работы, например, по вскрытию штукатурки или разрушению кирпичной кладки зданий.

Даже если ориентироваться на минимальное значение запыленности воздуха при возможных видах работы, например, – $1,9 \text{ г/м}^3$ при транспортировке строительных отходов на ленточном транспортере, – это значение достаточно велико, чтобы признать необходимость предусматривать специальные меры пылеподавления, особенно с учетом возможного содержания на пыли следов СЗ. Поэтому защита от пыли становится определяющим мероприятием в системе безопасности проведения работ по восстановлению техногенных территорий, а также, впоследствии, при работе с образующимися отходами.

Вместе с тем процессы пылеобразования и характеристика образующейся пыли при проведении этих работ во многом будут определять эффективность

принимаемых мероприятий по защите от ее воздействия на работающий персонал. Однако ранее таких исследований для перечисленных выше видов работ не проводилось.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

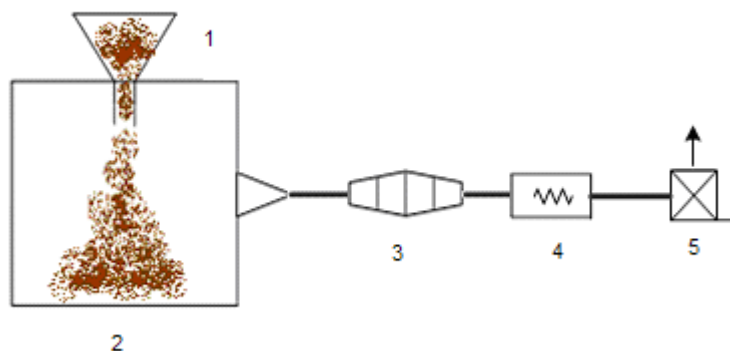
Нами была исследована способность к пылеобразованию различных материалов в условиях, имитирующих проведение работ, связанных с их перемещением. Также было изучено распределение образующейся пыли по дисперсности, так как частицы размером менее 5 мкм наиболее активно улавливаются человеком при дыхании и способны проникать в альвеолы легких [5–8]. В случае присутствия на этих частицах сорбированных СЗ, такая пыль будет представлять наибольшую опасность. Поэтому ее содержание в общем объеме образующейся пыли представляет особый интерес.

В качестве объектов исследования были взяты грунты (песок, суглинок), кирпич, бетон и асфальт как наиболее типичные материалы при проведении работ по ликвидации накопленного экологического ущерба. Характеристика исследованных образцов приведена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика образцов, исследованных на способность к пылеобразованию

№ образца	Наименование образца	Характеристика образца	Масса образца, кг
1	Песок	Частицы размером от 0,2 до 1,5 мм Влажность 0,8%	1,023
2	Песок увлажненный	Частицы размером от 0,2 до 1,5 мм Влажность 8,8%	1,008
3	Суглинок	Частицы размером от 1,0 до 10 мм Влажность 13,6%	0,985
4	Строительный кирпич	Куски размером 20–50 мм Влажность 0,2%	1,015
5	Строительный кирпич увлажненный	Куски размером 20–50 мм Влажность 10,1%	1,005
6	Строительный бетон	Куски размером 20–50 мм Влажность 4,6%	1,009
7	Асфальт	Куски размером 20–50 мм Влажность 0,3%	1,010

Для количественного определения пылеобразования, а также распределения частиц по размерам (фракциям) была сконструирована специальная установка, схема которой приведена на рисунке.



1. Дозирующая воронка с образцом грунта.
2. Камера объемом 500 л.
3. Импактор для разделения частиц по размерам.
4. Фильтр Петрянова для улавливания мелкой фракции частиц.
5. Аспиратор для отбора проб воздуха, содержащего частицы.

Рис. 1. Принципиальная схема установки для количественного определения пылеобразования и распределения частиц по размерам.

Методика определения пылеобразования заключалась в следующем. Образец предварительно подготовленного исследуемого образца (см. таблицу 1) загружался в дозирующую воронку и в течение 1 мин ссыпался в камеру. Отбор пробы воздуха осуществлялся аспиратором (5) на импактор Андерсена (3) и фильтр Петрянова (4) в зависимости от типа материала через 1, 10, 15, 25, 30 и 40 мин. Скорость аспирации составляла 10 л/мин.

Распределение частиц по размерам определялось с помощью каскадного импактора Андерсена, разделяющего частицы по размерам на фильтрах (ф1-ф4) и на фильтре Петрянова. На первом фильтре (ф1) улавливались частицы размером более 10 мкм, на втором (ф2) – от 5 до 10 мкм, на третьем (ф3) – от 2 до 5 мкм, на четвертом (ф4) – от 0,8 до 2 мкм. Частицы размером менее 0,8 мкм улавливались на фильтре Петрянова. Количество материала с определенным размером частиц на каждом фильтре определялось весовым методом на аналитических весах марки «Sartorius BP 301S» с пределом измерения 0,1 мг.

Перед каждым экспериментом определялась влажность исходного материала методом сушки при 100-105°C в термостате до постоянного веса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты, полученные при определении количества образующейся пыли для исследуемых материалов приведены в таблице 2.

Как следует из данных, приведенных в таблице 2, исследованные виды грунта и строительных материалов по способности к пылеобразованию в первую минуту эксперимента можно расположить в следующем ряду: сухой кирпич > суглинок > сухой песок = бетон > асфальт. При увлажнении способность к пылеобразованию как грунта (песок), так и строительного

материала (кирпич), резко снижается. Вместе с тем в условиях эксперимента присутствие пыли в воздухе обнаруживается даже через 30 - 40 мин, что может свидетельствовать о достаточной стабильности пылевого облака.

Таблица 2. Результаты исследования грунта (песок, суглинок) и строительных материалов на предмет пылеобразования

Образец	Количество пыли, образующееся через время от начала эксперимента (мин), в % от массы исходного образца					
	1	10	15	25	30	40
Песок № 1	0,0224				0,0036	
Песок № 2	$1,09 \cdot 10^{-4}$					
Суглинок №3	0,036			0,0015		$2,5 \cdot 10^{-4}$
Кирпич № 4	0,05		0,0033		0,00108	
Кирпич № 5	$4,97 \cdot 10^{-5}$					
Бетон № 6	0,0212	0,00243				
Асфальт № 7	0,0051	$2 \cdot 10^{-4}$				

Результаты распределения частиц пыли по размерам приведены в таблице 3. Из данных таблицы 2 видно, что относительное количество образующейся пыли невелико – не превышает 0,05% от массы образца (для кирпича, образец №4). Однако, учитывая общий объем возможных отходов, образующихся при восстановлении территорий и объектов по уничтожению химического оружия, количество пыли будет достигать значительных величин. Например, при общем объеме отходов 200 000 т количество пыли только при их перемещении, исходя из полученных нами данных, может составить 100 т.

Таким образом, при проведении работ с грунтом и строительными конструкциями можно ожидать образования значительных количеств пыли, способной длительное время находиться в воздухе, что, несомненно, требует учета при разработке системы безопасности для проведения работ с загрязненными отходами.

Как следует из данных, приведенных в таблице 3, исследованные виды грунта и строительных материалов по способности к образованию наиболее опасной фракции пыли размером частиц менее 5 мкм располагаются в следующем ряду: влажный песок > сухой песок > суглинок > сухой кирпич > бетон > асфальт.

Увеличение у образца влажного песка доли пыли с фракцией частиц менее 5 мкм можно объяснить их высокой гидрофобностью. Поэтому смачивание приводит к снижению общего количества пыли, но за счет более крупных фракций. На этом фоне доля пыли с фракцией частиц менее 0,5 мкм возрастает.

Таблица 3. Результаты исследования фракционного состава пыли грунта (песок, суглинок) и строительных материалов

Образец	Распределение частиц пыли, масс. %, в диапазонах размеров, мкм					Общее количество пыли менее 5 мкм, масс. %
	> 10	5-10	2-5	0,8-2	< 0,8	
Песок №1	31,2	41,4	22,4	1,7	3,3	27,4
Песок №2	7,7	25,6	43,6	20,5	2,6	66,7
Суглинок №3	55,6	31,0	6,4	4,2	2,8	13,4
Кирпич №4	58,0	31,2	8,8	1,0	1,0	10,8
Кирпич №5	99,0	1,0	-	-	-	
Бетон №6	58,4	35,0	4,6	1,0	1,0	6,6
Асфальт №7	76,0	20,0	2,0	2,0	-	4,0

Следует отметить, несмотря на то, что суммарное количество пыли этой фракции в данном случае крайне мало ($1,09 \cdot 10^{-4}$ масс. % от исходного образца через 1 мин после начала эксперимента, данные таблицы 2), однако при общих больших объемах отходов, как отмечалось ранее, ее количество может быть значительным.

Из остальных материалов наибольшее количество пыли с фракцией частиц менее 5 мкм образует сухой песок (27%), пылевое облако которого более устойчиво по сравнению с другими образцами ($3,6 \cdot 10^{-3}$ масс.% от исходного образца через 30 мин после начала эксперимента, данные таблицы 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для большинства исследованных строительных материалов и видов грунта (исключая асфальт) доля образования пыли с фракцией частиц размером менее 5 мкм достаточно высока.

Учитывая, что влажные образцы, по сравнению с сухими, обладают меньшей способностью к пылеобразованию (в случае песка – в 200 раз, а в случае кирпича – в 1000 раз), необходимо предварительно, до начала работ, смачивать поверхности, строительные материалы и грунт, особенно в летнее и сухое время. Также целесообразно предусматривать душевание водой мест проведения работ, связанных с потенциальным пылеобразованием (выемка загрязненного грунта, его перетаривание, скол штукатурки, дробление железобетонных изделий и т.п.). При этом для уменьшения доли мелких частиц (менее 5 мкм) целесообразно добавлять в воду поверхностно-активные вещества.

Список литературы:

1. Кошелев А.В., Головков В.Ф., Богоявленская Ю.С., Суровцев В.В., Корольков М.В. Комплексная санация техногенного грунта при ликвидации накопленного экологического ущерба. В сборнике научных трудов под ред. Е.И. Тихомировой: Экологические проблемы промышленных городов. Саратов: СГТУ, 2015. Т. 1. С. 178.
2. Голденков В.А., Дикий В.В., Лизунова Г.В. // Российский химический журнал (Журнал Росс. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2002. Т. XLVI. № 6. С. 39.
3. Лошадкин Н.А., Голденков В.А., Дикий В.В. и др. // Российский химический журнал (Журнал Росс. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2002. Т. XLVI. № 6. С. 46.
4. Красовицкий Ю.В., Малинов А.В., Дуров В.В. Обеспыливание промышленных газов в фаянсовом производстве. М.: Химия, 1994. 265 с.
5. Conley J., Yang H., Wilson T. et al. // *Antimicrob. Agents Chemother.* 1997. V. 41. No. 6. P. 1288.
6. D'akov S.I., Bubnov V.P., Lebedeva I.K. et al. // *Антибиотики и химиотерапия.* 2000. Т. 45. № 6. С. 17.
7. Hybertson B.M., Left J.A., Beehler C.J., Barry P.C., Repine J.E. // *Free Rad. Biol. Med.* 1995. V. 18. No. 3. P. 537. DOI: 10.1016/0891-5849(94)00180-r.
8. Moren F. Aerosol Dosage Forms and Formulations. In: *Aerosols in Medicine. Principles, Diagnosis and Therapy.* Ed. by F. Moren, M.T. Newhouse and M.B. Dolovitch. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1985. P. 261.

References:

1. Koshelev A.V., Golovkov V.F., Bogoyavleskaya Yu.S., Surovtsev V.V., Korol'kov M.V. Comprehensive rehabilitation of technogenic soil with elimination of accumulated environmental damage. In: *Ecological problems of industrial cities.* Ed. by E.I. Tikhomirova. Saratov: Saratov State Technical University, 2015. V. 1. P. 178 [in Russian].
2. Goldenkov V.A., Dikiy V.V., Lizunova G.V. // *Russ. Khim. Zhurnal [Russian Chemical Journal]*. 2002. V. XLVI. No. 6. P. 39 [in Russian].
3. Loshadkin N.A., Goldenkov V.A., Dikiy V.V. et al. // *Russ. Khim. Zhurnal [Russian Chemical Journal]*. 2002. V. XLVI. No. 6. P. 46 [in Russian].
4. Krasovitskiy J.V., Malinov A.V., Durov V.V. Dedusting of industrial gases in the production of faience. M.: Khimiya, 1994. 265 p. [in Russian].
5. Conley J., Yang H., Wilson T. et al. // *Antimicrob. Agents Chemother.* 1997. V. 41. No. 6. P. 1288.
6. D'akov S.I., Bubnov V.P., Lebedeva I.K. et al. // *Antibiot. Khimioter. [Antibiotics and chemotherapy]*. 2000. V. 45. No. 6. P. 17.
7. Hybertson B.M., Left J.A., Beehler C.J., Barry P.C., Repine J.E. // *Free Rad. Biol. Med.* 1995. V. 18. No. 3. P. 537. DOI: 10.1016/0891-5849(94)00180-r.
8. Moren F. Aerosol Dosage Forms and Formulations. In: *Aerosols in Medicine. Principles, Diagnosis and Therapy.* Ed. by F. Moren, M.T. Newhouse and M.B. Dolovitch. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1985. P. 261.