

Особенности воздействия высокодисперсных аэрозолей и актуальные проблемы нанобезопасности

А.И.Потапов, В.Н.Ракитский, А.В.Тулакин, Л.А.Луценко, А.В.Ильницкая, А.М.Егорова, Л.Л.Гвоздева

*Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана, Мытищи, Московская область
(и.о. директора — акад. РАН, проф. В.Н.Ракитский)*

В статье анализируются российский и зарубежный опыт, международные стандарты, доклады и рекомендации, касающиеся оценки высокодисперсных аэрозолей и аэрозолей наночастиц в воздухе рабочей зоны.

Ключевые слова: наноматериалы, безопасность наночастиц и наноматериалов для окружающей и производственной среды, высокодисперсные аэрозоли и аэрозоли наночастиц

Features of Superfine Aerosols' Impact and Actual Problems of Nanosafety

A.I.Potapov, V.N.Rakitsky, A.V.Tulakin, L.A.Lutsenko, A.V.Ilnitskaya, A.M.Egorova, L.L.Gvozdeva

F.F.Erisman Federal Research Center for Hygiene, Mytishchi, Moscow Region

The article analyzes the Russian and foreign experience, international standards, reports and recommendations, concerning the assessment of superfine aerosols and aerosol nanoparticles in the working area.

Key words: nanomaterials, safety of nanoparticles and nanomaterials for surrounding and industrial environment, superfine aerosols and aerosols of nanoparticles

Повышенное загрязнение воздушной среды взвешенными твердыми частицами характерно для многих предприятий, технология которых связана с пылеобразованием. Дисперсная фаза аэрозолей может содержать вещества фиброгенного, токсического либо смешанного типа действия и широкого диапазона дисперсности. Для аэрозоля дезинтеграции характерны частицы микрометрового размера (1–100 мкм); высокодисперсный аэрозоль конденсации представлен субмикронными частицами (0,1–1 мкм). Известны источники ультрадисперсного аэрозоля с размером частиц до 0,1 мкм: природные (естественные процессы — лесные пожары, вулканические выбросы и др.) и антропогенные источники (традиционные технологии — сварка, сжигание топлива, промышленное производство и прочее) [1].

Нами обобщены научные данные о методологии оценки действия, нормирования и контроля промышленных аэрозолей в воздухе рабочей зоны, принятые в нашей стране

и за рубежом; особенности поведения вдыхаемых частиц на участках дыхательного тракта человека; возможности современной приборной техники в выполнении объективного контроля фракционного состава витающего аэрозоля и оценки параметров вдыхаемых фракций.

Концепция отечественных гигиенистов труда в отношении пылевого фактора признает в качестве основных критериев вредности: общую массу вдыхаемой пыли, что закреплено в ГОСТ Р 54578-11 [2], ее вещественный состав и время действия.

Вместе с тем контроль только общей массы (мг/м³) нельзя считать показателем, универсальным по информативности и достаточности для гигиенической оценки и прогноза опасности воздействия на организм промышленной пыли, разнообразной по происхождению и эффектам действия. Подтверждением тому являются, например, известные данные Б.Т.Величковского по существенному отличию действия аэрозолей дезинтеграции и конденсации диоксида кремния [3] и некоторые собственные наблюдения. Отмечено [4], что у операторов, обслуживающих различные типы плазменных установок, рано регистрируются и активно нарастают хронические воспалительно-дистрофические заболевания верхних дыхательных путей (при стаже до 5 лет — у 28,1 ± 3,8%; 5–10 лет — у 41,1 ± 3,6% обследованных, $p < 0,05$) по сравнению с контрольным контингентом (12,3 ± 3,2%), $p < 0,05$. Согласно электронной микроскопии, оплавлен-

Для корреспонденции:

Луценко Лидия Александровна, доктор медицинских наук, профессор, заведующая отделом медицины труда Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана

Адрес: 141000, МО, Мытищи, ул. Семашко, 2

Телефон: (495) 582-9668

E-mail: mtrud777@rambler.ru

Статья поступила 11.11.2013, принята к печати 25.12.2013

ные сферические частицы, образуемые при напылении, наплавке, плазменно-механической обработке сплавов металлов, имели преимущественно размеры до 1 мкм с преобладанием доли частиц размером до 0,2 и 0,4 мкм (например 56,4 и 17,4% соответственно — у бронзы; 61,3 и 18,3% — у железо-никель-хром-марганец-тугоплавкого сплава (сормайта). По-видимому, именно присутствием субмикроскопических частиц можно объяснить неблагоприятное воздействие высокодисперсного плазменного аэрозоля, обладающего высокой сорбционной способностью. У работников черной металлургии [5] показатель частоты профессиональных заболеваний органов дыхания (пневмокониоз, включая силикоз, хронический пылевой бронхит, хронический обструктивный бронхит, токсико-пылевой бронхит, бронхиальная астма, рак легких) в 3,3–5,7 раза превышал аналогичный показатель, чем при действии пыли смешанного состава, что соответствовало более высоким пылевым нагрузкам. Однако наличие единичных случаев пылевых профзаболеваний при воздействии среднесменных концентраций аэрозоля конденсации фиброгенно-токсического типа действия, не превышающих ПДК, свидетельствует о необходимости устанавливать более низкий порог вредности подобного аэрозоля.

Создание нанотехнологий — новых ключевых инновационных технологий современного мира [6], которые изучают явления и манипулируют материалами на атомном и молекулярном уровне, где свойства вещества существенно отличаются от более крупных частиц или сыпучего материала одного и того же состава, — способствует совершенствованию наших знаний о биологической роли дисперсности вдыхаемых частиц. Достигнуто единое мнение о том, что специально спроектированные (инженерные) наночастицы (НЧ) и содержащие их наноматериалы (НМ), благодаря своим сверхмалым размерам (1–100 нм), приобретают уникальные свойства: механическую прочность, особые спектральные, электрические, магнитные, химические и иные характеристики. Это делает их чрезвычайно перспективными для использования в различных областях деятельности человека: электронике, металлургии, строительстве, химической и пищевой отраслях промышленности, в сельском хозяйстве, медицине и многих других [7, 8].

Развитие нанотехнологий во всем мире идет опережающими темпами, проводятся активные исследования по выявлению потенциальных опасностей для здоровья людей, связанных с возможным загрязнением новыми видами продукции производственной и окружающей среды, оценке и регулированию риска [9].

Большая удельная поверхность свободных НЧ усиливает их химическую реакционную способность, каталитические и токсические свойства; многие НЧ не распознаются защитными системами организма [10, 11], не подвергаются биотрансформации и не выводятся из организма. Установлено, что нерастворимые или плохо растворимые НЧ при введении их лабораторным животным способны вызывать воспаление легких, фиброз, новообразования легкого, генные мутации; проникать в межклеточное пространство, циркулировать в кровеносном русле, пере-

мещаться в другие органы; некоторые виды НЧ могут перемещаться по аксонам обонятельного нерва в мозг [12–15]. Наиболее изучены эффекты действия НЧ диоксида титана. Его считают потенциальным канцерогеном [16], вместе с тем диоксид титана широко используется, прежде всего, в косметологии, в связи с чем необходим строгий контроль его применения. Достаточно негативное влияние на легочную ткань оказывают углеродные нанотрубки (CNT), особенно неочищенные однослойные (SWCNT), что объясняют влиянием примеси металлов-катализаторов, генерацией свободных радикалов, склонностью к агломерации [15, 17].

В целом, было подтверждено, что переход вещества на наноуровень сообщает не только новые свойства материалу, но и влечет за собой новые риски для безопасности окружающей и производственной среды и здоровья человека.

Ввиду относительно незначительной массы, большой площади поверхности, быстрого рассеивания в воздухе, склонности к образованию агломератов считается, что традиционный гравиметрический метод контроля пыли (мг/м³) не применим для малорастворимых частиц размером менее 100 нм. Поэтому предлагается дополнительно определять и учитывать: счетную концентрацию частиц, распределение по размерам, поверхность частиц и ее активность, поскольку именно эти показатели, а не их масса, имеют более тесную корреляцию с показателями токсичности [18].

В России ведется активная разработка вопросов обеспечения безопасности нанотехнологий. Основные гигиенически значимые характеристики, отражающие особенности состава и свойств новых видов нанопродукции, принципы обоснования ее безопасности для организма и окружающей среды закреплены в нормативно-методических документах Роспотребнадзора: постановление от 23.07.07 № 54 «О надзоре за продукцией, полученной с использованием нанотехнологий и содержащей наноматериалы»; постановление от 31.10.07 № 79 «Об утверждении Концепции токсикологических исследований, методологии оценки риска, методов идентификации и количественного определения наноматериалов»; методические рекомендации «Оценка безопасности наноматериалов» (приказ Роспотребнадзора от 12.10.07 № 280).

Важные результаты получены в комплексных исследованиях, выполненных организациями различной ведомственной подчиненности (РАМН, РАН, Роспотребнадзор и др.) в рамках федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в РФ на 2008–2011 гг.». Документы внедрения по данным госконтрактам (головные учреждения: ГУ «НИИ питания» РАМН, ФГБУ «НИИ экологии человека и окружающей среды им. А.Н.Сысина» Минздравсоцразвития, ГОУ ВПО «Вятский государственный университет» Минобрнауки) посвящены решению проблемы нормативно-правового и методического обеспечения комплексной системы безопасности в процессе исследований, освоения, производства, обращения и утилизации наноматериалов в Российской Федерации, разработке средств контроля содержания наночастиц на объектах производственной сферы и др.

ФНЦГ им. Ф.Ф.Эрисмана Роспотребнадзора принимал участие в подготовке 11 документов внедрений, в том числе являлся ответственным исполнителем методических рекомендаций 1.2.0037-11 «Контроль наноматериалов в воздухе», методических рекомендаций 1.2.0024-11 «Контроль наноматериалов, применяемых в химической промышленности», методических указаний 1.2.2875-11 «Порядок выявления и идентификации наноматериалов в водоемах», методических указаний 1.2.2743-10 «Порядок отбора проб для выявления и идентификации наноматериалов в водных объектах».

На основании анализа обширных, в основном зарубежных научных данных по оценке токсичности НЧ/НМ, были предложены гигиенические нормативы содержания приоритетных наноматериалов: в воздухе рабочей зоны — ОБУВ диоксида титана и однослойных углеродных нанотрубок; в воде водоемов — ОДУ серебра, в питьевой воде — ОДУ серебра (гигиенические нормативы 1.2.2633-10). Этот документ утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 25.05.10 № 60 (сроком на 3 года). Специалистами ФБУН «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» обоснован ОБУВ наночастиц магнетита Fe_3O_4 в воздухе рабочей зоны, равный $0,4 \text{ мг/м}^3$ [19]. Утверждены гигиенические нормативы 2.1.6.2604-10 (дополнение 8 к гигиеническим нормативам 2.1.6.1338-03) «Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест». Они включают: максимально разовые и среднесуточные (99-й перцентиль) величины предельно допустимых концентраций (мг/м^3) взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$, их предельно допустимые среднесуточные концентрации.

Ввиду недостатка текущих знаний об особенностях действия на живые организмы нового вида нанопродукции предлагается принимать во внимание результаты исследования естественно образуемых ультрадисперсных (менее 100 нм) частиц.

В гипотезе, сформулированной специалистами Национального института профессиональной безопасности и здоровья США (NIOSH) [18], сообщалось, что специально спроектированные инженерные наночастицы, вероятно, вызывают неблагоприятные последствия для здоровья подобно действию ультрадисперсных частиц, непреднамеренно образуемых, если они имеют схожие физические и химические характеристики.

Отечественными учеными на основании опытов изучения биологического действия различных субмикроскопических аэрозолей конденсации рекомендовано выделение пяти типов биологически значимых межмолекулярных взаимодействий поверхности наночастиц с мембраной фагоцита, при исследовании которых высокую информативность показал хемилюминесцентный метод исследования, отражающий динамику образования свободных радикалов кислорода (Величковский Б.Т., 2009) [20].

Объединенный исследовательский центр Европейской комиссии (JRC) и авторы проекта «NanoSafe-Risk Governance of Manufactured Nanoparticles» предложили новый термин правового определения наноматериалов: «части-

ца наноматериалов» (MNPs). Он трактуется так: «это одно вещество или тесно связанный ансамбль веществ (состоящий из атомов и молекул), по крайней мере одно из которых находится в конденсированной фазе и имеет внешние размеры в наномасштабе (т.е. в диапазоне от 1 до 100 нм) по крайней мере в двух измерениях. Термин относится только к промышленным преднамеренно производимым или инженерным (это синонимы) частицам наноматериалов (MPNs)» [9].

На современном этапе разработки нанотехнологий наиболее реально ожидать профессиональное воздействие наноаэрозолей на работников, занятых в сфере создания и производства новых видов продукции. Поэтому путь поступления в организм через органы дыхания (ингаляция) оценивается как имеющий наиболее высокий риск, хотя абсорбция через кожу и поступление в желудочно-кишечный тракт также возможны.

Для осуществления эффективного контроля за содержанием в воздушной среде наноаэрозолей необходимо наличие приборов контроля, технические характеристики которых должны соответствовать решению поставленной цели и быть удобными для использования.

Известно, что дисперсными характеристиками любого аэрозоля как взвеси твердых частиц в воздухе являются: размер частиц; их концентрация (счетная, массовая, объемная). Важно учитывать также форму, структуру, агрегатное состояние вещества, поверхность частиц, ее активность и др.

Современные международные и отечественные стандарты предусматривают применение различных методов и приборов контроля содержания НЧ в воздухе рабочей зоны [21–25]. При этом для контроля полидисперсного аэрозоля требуются методы, включающие как индивидуальные, так и комплексные приборы для выделения частиц субмикронного и/или наноразмерного диапазонов (ISO/TR 27628:2007; ISO/TR 12885:2008(E); ISO 15900:2009(E)) [22–24]. Примерами первых являются: дифференциальный анализатор мобильной подвижности; электростатический классификатор; конденсационный счетчик частиц. К комплексным приборам относят, например: сканирующий спектрометр аэрозольных наночастиц; анализатор частиц; лазерный анализатор наночастиц и др. В РФ сертифицированы приборы: TEOM 1400; ОМПН-10.0; Dust Trak 8530/8533. Однако данные приборы имеют ограниченное применение для определения пыли размером менее 100 нм из-за несовершенства фильтров.

Стандарты CEN, 1993 (CEN, EN 481 «Workplace atmosphere — Size fraction definitions for measurement of airborne particles») [26], ISO 7708:1995 и ГОСТ Р ИСО 7708-2006 [27] обеспечивают удовлетворительное определение целевых характеристик (нормативов) приборов, предназначенных для определения вдыхаемой, торакальной и респираторной фракций аэрозоля при оценке воздействия вдыхаемых частиц на здоровье работников.

Вдыхаемая фракция определяется как массовая доля всех взвешенных в воздухе частиц, которые вдыхаются через нос и рот (указано, что ее величина зависит от скорости и направления движения воздуха, интенсивности

вдыхания и других факторов) [28]. Торакальная фракция задается как массовая доля вдыхаемых частиц, проникающих за пределы гортани; характеризуется как совокупное логнормальное распределение с массовым средним (медианным) аэродинамическим диаметром 11,64 мкм и геометрическим стандартным отклонением 1,5 (при этом величина массового среднего (медианного) аэродинамического диаметра равна 10 мкм, если характеристика выражается в виде доли от общего аэрозоля). В соответствии с ГОСТ Р ИСО 7708-2006 до 50% всех взвешенных в воздухе частиц диаметром 10 мкм относятся к торакальной фракции (проникают ниже гортани). Массовый средний (медианный) аэродинамический диаметр респираторной (дыхательной) фракции задается равным 4,25 мкм с геометрическим стандартным отклонением 1,5 (если характеристика определяется как доля вдыхаемой фракции) и 4,0 мкм, если это доля от общего аэрозоля. При контроле групп повышенного риска медиана респираторной фракции задается равной 2,5 мкм, при геометрическом стандартном отклонении 1,5.

Требования к лабораторным испытаниям приборов для отбора аэрозолей при санитарно-гигиеническом контроле, их характеристикам, обеспечивающим соблюдение нормативов вдыхаемой, торакальной и респираторной фракций, закреплены в Европейском стандарте EN 13205:2001: «Workplace atmospheres — Assessment of performance of instruments for measurement of airborne particle concentrations» и идентичном ему ГОСТ Р EN 13205-2010 «Воздух рабочей зоны. Общая характеристика приборов для определения содержания твердых частиц» (стандарт утвержден для добровольного применения приказом Росстандарта от 25.11.10 № 524 (изм. 17.01.12)). Следует учитывать, что указанные требования распространяются только на пробоотборники, принцип действия которых основан на отделении частиц от газа — носителя (воздуха) в результате аэродинамических процессов.

Большой объем накопленных научных данных, однако, рассматривается как пока недостаточный для оценки реального риска для здоровья человека при воздействии частиц наноматериалов. Именно поэтому основное значение придается разработке превентивных мер безопасности, основополагающим принципом которых является требование относиться к новым видам материалов и продукции как к заведомо опасным.

Согласно международным и отечественным рекомендациям, при работе с наноматериалами предпочтительнее использовать дисперсии, пасты, гранулы вместо тальков или аэрозолей; применять технологические методы: замкнутые процессы и закрытое оборудование, эффективную вентиляцию, ламинарные шкафы 3 класса, робототехнику. Необходим контроль воздействия наночастиц, обучение и инструктаж работников. Рабочие должны иметь надежные средства индивидуальной защиты: респираторы, защитные перчатки, очки и защитную одежду. Кроме того, необходимы специальные обучающие программы и контроль состояния и использования средств индивидуальной защиты. Все рабочие должны проходить предварительные, периодические и углубленные медицинские осмотры [22, 29].

Заключение

Промышленные аэрозоли, загрязняющие воздух рабочей зоны при различных технологических процессах, могут характеризоваться различием размеров частиц твердой дисперсной фазы. Биологическое значение дисперсного состава аэрозолей требует особенного изучения при воздействии на живые организмы нового фактора: специально спроектированных частиц нанометрового диапазона измерений. Накопленные научные данные создают важную базу для обоснования превентивных мер нанобезопасности при разработке и реализации нанотехнологий в целях охраны здоровья работающих и населения. Актуально проведение дальнейших исследований вредных эффектов действия НЧ/НМ в опытах на лабораторных животных и *in vitro* при согласовании методов их идентификации; разработка и внедрение информативных и доступных приборов контроля наноаэрозоля в объектах окружающей и производственной среды; обоснование безопасных уровней воздействия НЧ/НМ; наблюдение за показателями здоровья экспонированных лиц; оценка уровня риска его нарушений. Важно комплексирование и межведомственное сотрудничество для более эффективного решения поставленных задач.

Литература

1. Лысцов В.Н., Мурзин В.Н. Проблемы безопасности нанотехнологий. М.: МИФИ, 2007. 70 с.
2. ГОСТ Р 54578-2011. Воздух рабочей зоны. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. Общие принципы гигиенического контроля и оценки воздействия. М.: Стандартинформ, 2012. 14 с.
3. Величковский Б.Т. Фиброгенные пыли: Особенности строения и механизма биологического действия. Горький: Волго-Вятское книжное издательство, 1980. 159 с.
4. Ильницкая А.В. Гигиена труда при применении низкотемпературной плазмы в промышленности: Автореф. дис. ... докт. мед. наук. М., 1986. с. 49.
5. Луценко Л.А., Гвоздева Л.Л., Тятянук Т.К., Желова А.В. Параметры пылевого воздействия и профессиональные болезни органов дыхания у работников, занятых выплавкой чугуна и стали // Медицина труда: Реализация Глобального плана действий по здоровью работающих на 2008–2017 гг. Материалы Всероссийской конференции, посвященной 85-летию ГУ НИИ МТ РАМН / Под ред. акад. РАМН Н.Ф.Измерова. М, 2008. С.195–196.
6. SCENIHR: European Commission, Directorate-General for Health and Consumers, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks: Opinion on the Scientific Aspects of the Existing and Proposed Definitions Relating to Products of Nanoscience and Nanotechnologies. Brussels, 2007.
7. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 31.10.2007 № 79. «Об утверждении Концепции токсикологических исследований, методологии оценки риска, методов идентификации и количественного определения наноматериалов».
8. Онищенко Г.Г., Арчаков А.И., Бессонов В.В. и др. Методические подходы к оценке безопасности наноматериалов // Методологические проблемы изучения и оценки био- и нанотехнологий (нановолны, наночастицы, структуры, процессы, биообъекты) в экологии человека и гигиене окружающей среды / Под ред. Ю.А.Рахманова. М., 2007. С.4–25.
9. NanoSafety-Risk Governance of Manufactured Nanoparticles. STOA — Science and Technology Options Assessment. FINAL REPORT. Project Leader: Torsten Fleischer (ITAS-KIT). EUROPEAN PARLIAMENT. MARCH 2012. 129 p.

10. Renwick L.C., Donaldson K., Clouter A. Impairment of alveolar macrophage phagocytosis by ultrafine particles // *Toxicol Appl Pharmacol.* 2001. V.172 (2). P.119–127.
11. Renwick L.C., Brown D., Clouter A., Donaldson K. Increased inflammation and altered macrophage chemotactic responses caused by two ultrafine particles // *Occup Environ Med.* 2004. V.61. P.442–447.
12. Nemmar A., Hoet P.H.M., Vanquickenborne et al. Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans // *Circulation.* 2002. V.105. P.411–414.
13. Oberdörster G., Finkelstein J.N., Johnston C. et al. Acute pulmonary effects of ultrafine particles in rats and mice // *Res Rep Health Eff Inst.* 2000. V.96. P.5–74. disc.75–86.
14. Oberdörster G., Sharp Z., Atudorei V. et al. Extrapulmonary translocation of ultrafine carbon particles following whole-body inhalation exposure of rats // *J Toxicol Environ Health A.* 2002. V.65 (20). P.1531–1543.
15. Shvedova A.A., Kisin E.R., Mercer R. et al. Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice // *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol.* 2005. V.289. P.698–708.
16. Current Intelligence Bulletin 63: Occupational Exposure to Titanium Dioxide Washington: Department of health and human Services. (NIOSH, 2011).
17. Donaldson K., Aitken R., Tran L. et al. Carbon Nanotubes: a Review of Their Properties in Relation to Pulmonary Toxicology and Workplace Safety // *Toxicol Sci.* 2006. V.92 (1). P.5–22.
18. Approaches to Safe Nanotechnology // *Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials* // Department of health and Human services. Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health. 2009. P.70.
19. Кацнельсон Б.А., Привалова Л.И., Дегтярева Т.Д. и др. Анализ некоторых результатов экспериментального изучения токсикологии наночастиц с позиций гигиенического нормирования // *Урал. мед. журн.* 2011. №9. С.35–39.
20. Величковский Б.Т. Об экспресс-методе прогнозирования возможного патологического влияния наночастиц на организм // *Пульмонология.* 2009. №4. С.5–9.
21. Technical Report ISO/TR 27628. First edition. 2007-02-01. Workplace atmospheres — Ultrafine, nanoparticle and nanostructured aerosols — Inhalation exposure characterization and assessment.
22. Technical Report ISO/TR 12885:2008(E). First edition. 2008-10-01. Nanotechnologies — Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies.
23. Technical Report ISO 15900:2009(E). Determination of particle size distribution — Differential electrical mobility analysis for aerosol particles.
24. Technical Report ISO CD 28439 Workplace atmospheres-sampling of ultrafine aerosols/nanoaerosols. Determining the size distribution and number concentration using mobility particle sizers/differential mobility analysers.
25. ГОСТ Р 8.712-2010. Государственная система обеспечения единства измерений. Дисперсные характеристики аэрозолей и взвесей нанометрового диапазона. Методы измерений. Основные положения.
26. CEN, 1993 (CEN, EN 481 «Workplace atmosphere — Size fraction definitions for measurement of airborne particles»).
27. ГОСТ Р ИСО 7708-2006 (дата последнего изменения — 23.06.2009): «Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле».
28. ICRP, International Commission on Radiological Protection Publication 66: Human respiratory tract model for radiological protection. Pergamon, Oxford: Elsevier Science Ltd, 1994. P.17.
29. А.И.Потапов, А.В.Тулакин, Л.А.Луценко и др. Международные стандарты безопасности при профессиональном воздействии наночастиц и гармонизация гигиенических подходов // *Здоровье насел. и среда обитания.* №5. 2011. С.21–23.

Информация об авторах:

Ракитский Валерий Николаевич, академик РАН, профессор, заслуженный деятель науки РФ, и.о. директора Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана
 Адрес: 141000, МО, Мытищи, ул. Семашко, д.2
 Телефон: (495) 586-1266
 E-mail: pesticide@yandex.ru

Тулакин Андрей Васильевич, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана,
 Адрес: 141000, МО, Мытищи, ул. Семашко, 2
 Телефон: (495) 582-9689
 E-mail: fncgerisman@mail.ru

Егорова Анна Михайловна, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела медицины труда Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана
 Адрес: 141000, МО, Мытищи, ул. Семашко, 2
 Телефон: (495) 582-9668
 E-mail: mtrud777@rambler.ru

Гвоздева Любовь Львовна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела медицины труда Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана
 Адрес: 141000, МО, Мытищи, ул. Семашко, 2
 Телефон: (495) 582-9668
 E-mail: mtrud777@rambler.ru