

Выводы. 1. Определение уровня ИФИ может быть использовано для оценки адаптационного потенциала не только при наличии патологии системы кровообращения, но и при ее сочетании с заболеваниями органов дыхания, в том числе и пылевой этиологии. 2. Применение пробы с 6-минутной ходьбой у пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы и респираторного тракта также актуально, позволяя интегрально оценивать степень переносимости физических нагрузок. 3. Использование мониторинга ЧСС и уровня насыщения крови кислородом во время выполнения пробы с 6-минутной ходьбой расширяет возможности интегральной оценки адаптационного потенциала кардиореспираторной системы как при наличии пылевой патологии, так и у работников с «пылевым» стажем.

2. Kutsenko M.A., Chuchalin A.G. // Russkiy med. zhurnal. — 2014. — V. 22. — 5. — P. 389–392 (in Russian).
3. Sidorenko G.I., Komissarova S.M. // Mezhdunarodnyy med. zhurnal. — 2006. — 2. — P. 5–10 (in Russian).
4. Tkachenko O.V., Serik S.A. // Ukr. terapevticheskiy zhurnal. — 2005. — 4. — P. 14–19 (in Russian).
5. Yatsyna I.V., Popova A.Yu. // Industr. med. — 2015. — 10. — P. 1–4 (in Russian).
6. Devereux R.B., Alonso D.R., Lutas E.M. et al. // Am. J. Cardiol. — 1986. — V. 57, №6. — P. 450–458.
7. Gosse P., Jullien V, et al. // J. Hum. Hypertens. — 1999. — V. 13. — P. 505–509.
8. Mosteller R. D. Simplified Calculation of Body Surface Area / R.D. Mosteller // N Engl J Med. — 1987. — Oct 22. — 317(17). — P. 1098 (letter).
9. Rutten F.H. // 2013, Europ. Respirat. Society J. Ltd. p. 50–63.

Поступила 19.01.2016

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (см. REFERENCES стр. 6–9)

1. Баевский Р.М., Берсенева А.П. и др. Оценка уровня здоровья при исследовании практически здоровых людей. — М.: «Слово», 2009. — 100 с.
2. Куценко М.А., Чучалин А.Г. // Рус. мед. ж-л. — 2014. — Т. 22. — №5. — С. 389–392.
3. Сидоренко Г.И., Комиссарова С.М. // Межд. мед. ж-л. — 2006. — № 2. — С 5–10.
4. Ткаченко О.В., Серик С.А. // Укр. терапевт. ж-л. — 2005. — № 4. — С. 14–19.
5. Яцына И.В., Попова А.Ю. и др. // Мед. труда и пром. эколог. — 2015. — № 10. — С. 1–4.

REFERENCES

1. Baevskiy R.M., Berseneva A.P., et al. Evaluation of health level, when investigating apparently healthy people. — Moscow: «Slovo», 2009. — 100 p. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Серебряков Павел Валентинович (Serebryakov P.V.), зав. тер. отд. Ин-та общ. и проф. пат. ФБУН «ФНЦ гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, д-р мед. наук, проф. E-mail: drsilver@yandex.ru.
- Нененко Ольга Ивановна (Nenenko O.I.), асп. терапевт. отд. Ин-та общ. и проф. пат. ФБУН «ФНЦ гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора. Тел.(факс) 8(495)586–12–34.
- Федина Ирина Николаевна (Fedina I.N.), рук. отд. анализа и коорд. НИР ФБУН «ФНЦ гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, д-р мед. наук, проф. E-mail: infed@yandex.ru.
- Рахимзянов Альфрит Рауилович (Rakhimzyanov A.R.), асс. каф. гиг. мед. труда ГОУ ВПО Казанский ГМУ Росздрава. Тел.:(+7 843 2360652)

УДК 613.6.027

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

ОСОБЕННОСТИ ДЕЙСТВИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ И МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, ул. Семашко, 2, г. Мытищи, Московская обл., Россия, 141014

Представлены результаты исследований по влиянию высокодисперсного аэрозоля, образуемого при традиционных плазменных процессах, на здоровье операторов. Рассмотрены новые технологии получения металлосодержащей нанопроодукции; рекомендованы меры защиты здоровья работников, методы и приборы контроля наноаэрозоля в воздухе.

Ключевые слова: наночастицы, вредные эффекты действия наноаэрозоля, меры безопасности работников предприятий при контакте с нанопродукцией, плазменные процессы.

L.A. Lutsenko, V.N. Rakitskiy, A.V. Il'nitskaya, A.M. Egorova, L.L. Gvozdeva. **Features of nano aerosols action and safety measures**

F.F. Erisman Federal Research Center of Hygiene, 2, Semashko str., Mytishi, Moscow region, Russia, 141014.

The article presents results of studies concerning influence of high-dispersed aerosol formed in traditional plasma processes on operators' health. Consideration also includes new technologies to obtain metall-containing nanoproducs; the authors recommend protection measures for workers, methods and devices to control nano aerosols in air.

Key words: *nano particles, hazardous effects of nano aerosols, safety measures for industrial workers exposed to nano products, plasma processes.*

Во многих странах мира продолжается активная разработка инновационных нанотехнологий, которые, «манипулируя веществом на атомном, молекулярном и высокомолекулярном уровнях, в масштабе примерно 1–100 нм» [1], создают уникальные по свойствам виды продукции, востребованные в разных областях производства и сферах деятельности человека [http://www.portalnano.ru/; http://www.rusnano.com/Home.aspx]. Постоянное расширение перечня производимой нанопродукции требует активизации принятия согласованных позиций по оценке нового фактора риска здоровью человека, определения специфики влияния наноаэрозоля на организм и мер защиты персонала на объектах нанотехнологий, включая выбор методов и приборов контроля наноаэрозоля в воздухе.

Активному исследованию подлежат естественно образуемые ультрамелкие частицы природного и/или антропогенного ненамеренного происхождения, присутствующие в атмосферном воздухе в случае лесных пожаров, извержения вулканов, постоянно — в выбросах автотранспорта, в воздухе рабочей зоны: при шлифовке, обработке металлов, бытовой пайке, промышленной сварке [2,3]. Риск вредного действия ультрамелких частиц в атмосферном воздухе подтвержден многочисленными экспериментальными и эпидемиологическими исследованиями [3].

Цель работы — обоснование по собственным (на примере применения низкотемпературной плазмы) и литературным данным критериев вредности наноразмерного аэрозоля для работников объектов нанотехнологий.

Методы исследования. Характеристика дисперсного состава аэрозоля (по электронной микроскопии): до 0,2 мкм; до 0,4 мкм; до 1 мкм; концентрация пыли в воздухе рабочей зоны, мг/м³; удельная поверхность, м²/г; оценка состояния здоровья операторов, обслуживающих различные плазменные установки, в динамике 3–5 лет стажа (180 чел.) по результатам клинико-функциональных методов (морфологический состав клеток слизистой оболочки полости носа; транспортная функция верхних дыхательных путей; состояние бронхолегочной системы, развитие бронхоспазма; частота функциональных расстройств вегетативной нервной и сердечно-сосудистой систем и т. п.).

Результаты исследования и их обсуждение. При плазменном напылении, наплавке и плазменно-механической обработке сплавов, содержащих, в том чис-

ле, высокотоксичные металлы (хром, никель, марганец и др.), доля взвешенных в воздухе рабочей зоны оплавленных сферических частиц размером до 1 мкм достигала 80%; преобладала доля частиц до 0,2 мкм (61,3% — максимально); удельная поверхность — порядка 3,37–5,2 м²/г. Частота хронических воспалительно-дистрофических заболеваний верхних дыхательных путей (ВДП) у операторов, обслуживающих технологические процессы с применением низкотемпературной плазмы, при стаже до 5 лет составила 28,1±3,8%, увеличивалась при стаже 5–10 лет до 41,1±3,6% (контрольный контингент: 12,3±3,2%); $p \leq 0,05$. Частота данной патологии у резчиков: 21,6±3,7% ($p \leq 0,001$); у металлизаторов: 14,4±3,5% ($p \leq 0,01$); показатели у наплавщиков (4,8 ± 2,1%) близки к контролю (3,7±1,9%). Замедление двигательной активности мерцательного эпителия как ранний признак атрофических изменений слизистой ВДП отмечен у металлизаторов (60,0±4,3%); у 55,9±6,5% резчиков; у 39,1±10,0% наплавщиков (контрольная группа: 32,0±6,6%). Изменения бронхолегочной системы у наплавщиков при воздействии высокодисперсных частиц, насыщенных оксидными газами, проходили по обструктивно-рестриктивному типу. Риноцитологические исследования выявили десквамацию клеток мерцательного эпителия, рост числа дегенеративно измененных клеток призматического эпителия, его метаплазию в многослойный плоский.

Отмеченные неблагоприятные эффекты действия высокодисперсного аэрозоля вероятно можно объяснить именно присутствием наиболее мелких частиц в составе пылегазовых композиций, особенно — в сочетании с озоном. Следует подчеркнуть, что за рубежом при мониторинге аэрозоля как загрязнителя воздуха рабочей зоны и/или атмосферного воздуха для оценки риска здоровью человека применяют единые стандарты вдыхаемых частиц [4], в нашей стране согласованные на уровне технических стандартов [3,5]. Критерии профессиональной экспозиции взвешенными частицами установлены с учетом особенностей поведения частиц в дыхательных путях человека. Отмечено, что в аэрозоле традиционной дисперсности частицы с аэродинамическим диаметром меньше 10 мкм достигают газообменную (альвеолярную) область легких [3,6], тогда как более крупные частицы имеют тенденцию отлагаться в верхних дыхательных путях. Выраженная особенность поведения частиц размером

менее 1 нм (0,001 мкм) заключается в том, что они вообще не достигают альвеол: 80% из них осаждаются в носоглоточной области и 20% — в трахеобронхиальном участке дыхательного тракта. До 90% частиц размером меньше 5 нм примерно поровну задерживаются в трех областях легкого (экстра-грудной, трахеобронхиальной и альвеолярной), а более 50% частиц размером 20 нм осаждаются в альвеолярном регионе [7]. Концентрация пыли, выраженная в единицах поверхности легких, будет в 100 раз больше в носовой области и более чем в 10 раз выше в трахеобронхиальной области [8] в сравнении с альвеолярной. В отличие от НЧ, короткие нановолокна могут проникать глубоко в легкие, тогда как очень длинные волокна с высоким соотношением сторон будут оставаться в верхних дыхательных путях [9].

В нашей стране, как и в других странах мира, для обеспечения санитарно-эпидемиологической безопасности атмосферного воздуха обоснованы максимальные разовые и среднесуточные ПДК взвешенных частиц: РМ10 и РМ2,5 и предельно допустимые среднегодовые концентрации этих фракций [ГН 2.1.6.2604–10 (дополнение 8 к ГН 2.1.6.1338–03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»)]. Однако, в отечественной гигиене труда контроль пылевого фактора по дисперсному составу фракций не предусмотрен, хотя хорошо известны особенности нозологических форм профессиональных заболеваний при воздействии либо аэрозоля дезинтеграции или конденсации.

Россия активно участвует в разработке нанотехнологий; реализуется «Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы» (Распоряжение Правительства РФ от 03.12.2012 №2237-р), включая разработку ключевых позиций создания новых материалов с заданными свойствами и функциями. Итогом явилась сформированная единая система нормативно-методических документов (их более пятидесяти), в которых регламентируются процедуры оценки безопасности и контроля наночастиц в объектах окружающей среды и в продукции наноиндустрии. Разработаны оценки рисков и управления рисками при внедрении новых видов продукции, порядок экспертизы нанопроductии [12]. ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора принял участие в разработке 11 документов внедрения, из них по четырем был ответственным исполнителем. Среди них: МР 1.2.0037–11 «Контроль наноматериалов в воздухе; МР 1.2.0024–11 «Контроль наноматериалов, применяемых в химической промышленности» [13].

Для работников, занятых в сфере создания, производства и использования наночастиц и наноматериалов (НЧ/НМ), наибольший риск здоровью ожидается от ингаляционного воздействия наноаэрозоля. Уникальные свойства НЧ определяют: 1) поверхностные эффекты (связаны со свойствами атомов на поверхности НЧ); 2) квантовые эффекты (характерны для материалов с дело-

кализованными электронами) [2,3,10,14]. Оба эффекта обуславливают особенную химическую реакционную способность НЧ/НМ (а, следовательно, и их биологическое действие), механические, оптические, электрические, магнитные и иные свойства нанопроductа. Достигнуто согласованное мнение о том, что НЧ более токсичны, чем крупные частицы того же химического состава и кристаллической структуры, потому при их вдыхании развиваются наиболее выраженные воспалительные реакции в легких [3,11,15]. НЧ способны проникать внутрь клетки и влиять на основные клеточные процессы: пролиферацию, обмен веществ, апоптоз (гибель клетки). К неблагоприятным эффектам действия НЧ на органы дыхания относят развитие фиброза и эмфиземы легочной ткани, которые формируются на фоне снижения клиренса НЧ макрофагами, накопления частиц в легочной ткани, развития воспаления, пролиферации эпителиальных клеток. Имеется вероятность появления рака легкого [3,15–17]. Известно, что НЧ, попавшие в организм, понижают защитные функции макрофагов и их реактивность к инфекциям. Могут, влияя на иммунную систему, ослабить способность организма к борьбе с инфекциями [3]. Полагают, что провоспалительное действие на легочную ткань диоксида кремния и волокон асбеста обусловлено их способностью генерировать реактивные формы кислорода и азота, инициировать развитие ряда аутоиммунных заболеваний (системной красной волчанки, склеродермии, ревматоидного артрита). Потенциальные риски здоровью могут зависеть от генетической восприимчивости и статуса организма [3,18].

Среди факторов, имеющих значение для формирования вредных эффектов действия НЧ, важны процессы физического перемещения (транслокации) нерастворимых или малорастворимых частиц из дыхательных путей в другие участки организма. Сведения о макрофагальном фагоцитозе частиц размером менее 100 нм противоречивы. Лучший фагоцитоз при высоких концентрациях можно объяснить образованием агрегатов [19], тогда как при низких концентрациях легкие быстрее очищались от НЧ, но путем их перераспределения в кровь и мозг, а в последствии — в сердце и почки. Углеродные нанотрубки практически не удаляются из легких или очень медленно выводятся (81% их количества находят в легких крыс через 60 дней) [20]. Большую опасность представляет пассивное поглощение НЧ и их взаимодействие с клетками организма, транслокация по системе кровообращения и, возможно — по лимфатической системе, отмечена взаимосвязь транслокации ультрамелких частиц в систему кровообращения с появлением тромбов [3,8,10].

Рассматривают два основных подхода к синтезу наночастиц: «снизу вверх» — из отдельных атомов и молекул, используя преимущественно химические реакции, и «сверху вниз» — механическим или иным дроблением более крупных частиц. Первый подход делится на два больших класса: 1) осаждение из газовой

фазы и 2) образование НЧ в коллоидном растворе. Осаждение из газовой фазы называют «химическим», если происходит изменение состава вещества, и «физическим», если химическая реакция отсутствует [21]. Для получения нанопроductии могут использоваться следующие процессы [22]: 1) конденсация газовой фазы, включая пиролиз в пламени высокотемпературных испарений и синтез в плазме; 2) синтез путем испарения и осаждения паров; 3) формирование химических реакций в жидкой фазе или с использованием коллоидных растворителей; 4) механические процессы истощения. Имеется подробная характеристика технологий получения нанопорошков металлов и их соединений [23] химическими (плазмохимический синтез, лазерный синтез, механо-химический синтез, криохимический синтез) и физическими (испарение и конденсация в инертном или реакционном газе, электрический взрыв проводников, механическое измельчение, детонационная обработка) методами. К перспективным относят газозольный синтез: испарение твердого материала (металла, сплава, полупроводника) при контролируемой температуре в атмосфере различных газов с последующим интенсивным охлаждением паров получаемого вещества (размер частиц 10–500 нм). Одним из эффективных, экологически чистых и практически безотходных методов получения нанопорошков металлов, сплавов, оксидов и карбидов различных металлов считается метод электрического взрыва проводников (ЭВП) [23].

Оценивая с позиций профессиональной гигиены технологические процессы получения НЧ, важно учитывать, что они особенно не отличаются от процессов химического производства [22,23]. Можно полагать, что при основных операциях вероятность загрязнения воздушной среды нанозолью будет ограничена в виду применения герметичного оборудования. При получении углеродных нанотрубок методом химического осаждения из газовой фазы меры безопасности воздушной среды должны учитывать возможность выделения токсичных полициклических углеродных соединений, включая полициклический бенз(а)пирен — широко известный канцероген [23]. При реализации мер безопасности нанотехнологий надо принимать во внимание и вероятность сочетанного действия пылегазовых микстов.

Хотя роль размера частиц является определяющей, но важны свойства и характер действия макроформы исходного вещества, сгруппированные по природе, свойствам и эффектам действия. В частности, из-за отсутствия утвержденных гигиенических регламентов безопасного содержания огромного разнообразия НЧ/НМ, предложено ориентироваться на временные величины, выраженные в виде доли от предела профессионального воздействия вредного вещества в воздухе рабочей зоны (WELs — workplace exposure limits) [24]. Для волокнистых (Fibrous) НЧ/НМ с высоким содержанием нерастворимых форм предлагаемый предел равен: 0,01 волокно/мл; для канцерогенов, му-

тагенов, веществ, вызывающих астму, репродуктивных токсинов (CMAR) — $0,1 \times WEL$ (обычно — массовая концентрация); для нерастворимых или плохо растворимых НЧ, не входящих в предыдущие две группы — $0,066 \times WEL$; для растворимых — $0,5 \times WEL$ [24].

В настоящее время имеются единичные исследования отечественных авторов по контролю воздуха рабочей зоны на присутствие НЧ при реализации нанотехнологий [25]. Несомненно, объем гигиенических исследований по оценке безопасности производственной и окружающей среды в связи с нанозолью загрязнением будет возрастать. Поэтому необходим согласованный выбор контролируемых параметров взвешенных в воздухе твердых частиц, диапазон размеров которых различен и обусловлен технологией применяемых процессов. Адекватным задаче оценки рисков здоровью должен быть выбор приборов, характеристики которых позволяют оценивать именно вдыхаемые фракции, опасные для человека.

Методы отбора проб и способы измерения НЧ в воздухе чрезвычайно важны для понимания сценариев ингаляционного воздействия и оценки риска здоровью на рабочем месте [3,11,24]. Контроль НЧ в воздухе можно осуществлять с применением приборов и методов, доступных для измерения и оценки (прямой или косвенной) пылевой экспозиции. К информативным контролируемым параметрам нанозоля относят: массу вдыхаемых частиц, количество частиц в единице воздуха, распределение по размерам, общую площадь поверхности [3,10,24,26,27]. Для оценки экспозиции НЧ/НМ с точки зрения прогноза риска здоровью работников предпочтительно осуществлять индивидуальный отбор проб в зоне дыхания обследуемой профессии. Обязательным требованием является измерение фоновых показателей, характеризующих исходное состояние воздушной среды производства (участка, цеха) до начала применения нанотехнологий и/или использования нанопроductии.

Из-за недостатка текущей информации о потенциальных рисках здоровью, связанных с созданием и применением новой продукции нанотехнологий, считается оправданным принятие превентивных мер предосторожности, что было осуществлено и в нашей стране [12].

В настоящее время сформулированы основные руководящие принципы, касающиеся объема и последовательности проведения мероприятий по гигиене труда и соблюдению правил техники безопасности при применении нанотехнологий [14], и они должны конкретизироваться с учетом специфики действия разнообразных видов НЧ/НМ. С целью ограничения профессиональных рисков, обусловленных ингаляционным воздействием НЧ, применяют комплекс мер, как это требуется для работы с вредными и опасными химическими веществами: 1) инженерно-технические методы (устранение или ликвидация; замена; инженерные меры), ограничивающие поступление

НЧ в воздушную среду; 2) административные меры и методы работы; 3) средства индивидуальной защиты работника.

Для предотвращения воздействия наноаэрозоля применяют местную вытяжную вентиляцию (LEV): химический вытяжной шкаф (CFH); класс II, тип B2 кабинет биобезопасности (BSC) (без рециркуляции); класс II, тип A2 или класс II, тип B1 BSC. Применение в системе вытяжной вентиляции фильтра высокой эффективности захвата наночастиц (HEPA) обеспечивает эффективную очистку воздушной среды помещения [26,27]. При работе с порошками наноматериалов используют чистые помещения, вытяжные шкафы, боксы биологической безопасности (при работе с небольшим количеством сухого материала), перчаточные боксы. Из средств индивидуальной защиты применяют перчатки (из нитрила с расширенными рукавами), лучше — двухслойные; респираторы (но не противопылевые, или хирургические маски); обувь с закрытым носком из материала с низкой проницаемостью; длинные брюки без манжет, рубашки с длинными рукавами; химические очки. Использование респираторов обязательно тогда, когда меры инженерного и административного контроля не обеспечивают адекватную защиту работника от воздействия загрязнения воздушной среды. Мероприятия, осуществляемые в целях охраны здоровья работников, занятых в профессиях, вредных по химическому фактору, предусматривают мониторинг здоровья и медицинское наблюдение, которые должны проводиться в соответствии с действующими регламентами.

Выводы. 1. Накопленные данные позволяют заключить, что искусственно создаваемые нанообъекты будут представлять новые и необычные риски для здоровья человека, обусловленные их возможным воздействием при вдыхании, а также поступлением через кожу, желудочно-кишечный тракт. 2. В настоящее время вполне доступна оценка риска ингаляционного воздействия, реальность которого в большей мере касается ультрамелких частиц, тогда как информация о загрязнении воздушной среды искусственно созданными частицами наноразмерного диапазона крайне ограничена. 3. Нанориски, как правило, могут быть только идентифицированы, тогда как требуется количественная оценка экспозиции как обязательная исходная позиция реализации методологии оценки и управления риском здоровью персонала объектов наноиндустрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (см. REFERENCES pp. 9–27)

1. Анциферова И.В., Макарова Е.Н. Методы производства наноматериалов и возможные экологические риски. // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материалovedение. — 2013. — Т. 15. — №4. — С. 59–66.
2. ГОСТ Р 54597–2011/ISO/ TR 27628:2007 «Ультрадисперсные аэрозоли, аэрозоли наночастиц и наноструктурированных частиц. Определение характеристик и оценка воздействия при вдыхании (ISO/TR 27628:2007 Workplace atmospheres — Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols — Inhalation exposure characterization and assessment (IDT)).
3. ГОСТ Р ИСО 7708–2006: «Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле» (аутентичный перевод стандарта ISO 7708:1995 Air quality — Particle size fraction definitions for health-related sampling (ËÑÏ 7708:1995) (дата последнего изменения 23.06.2009).
4. Еремин В.В., Дроздов А.А. Методы синтеза и исследования наночастиц. Классификация методов синтеза наночастиц. Лекция 2. www.nanometer.ru — Информационный портал ФНМ МГУ; www.ctr-nano.phys.msu.ru — сайт Центра коллективного пользования МГУ им. М.И. Ломоносова; www.ntmdt.ru — сайт компании NT-MDT.
5. Лыцов В.Н., Мурзин Н.В. // Пробл. безопасности нанотехнологий. 2007. — 46 с.
6. Онищенко Г.Г., Тутельян В.А., Гмошинский И.В., Хотимченко С.А. Развитие системы оценки безопасности и контроля наноматериалов и нанотехнологий в Российской Федерации. // Гиг. и санит. — 2013. — №1. — С. 4–11.
7. Потапов А.И., Ракитский В.Н., Тулакин А.В., Луценко Л.А., Ильницкая А.В., Егорова А.М., Гвоздева Л.Л. Безопасность наночастиц и наноматериалов для окружающей и производственной среды // Гиг. и санит. — 2013. — №3. — С. 8–13.
8. Уланова Т.С., Злобина А.В., Шекурова Д.А. Результаты оценки показателей, характеризующих наночастицы в воздухе рабочей зоны титанового производства. // Мед. труда и пром. эколог. — 2013. — №11. — С. 37–41.

REFERENCES

1. Antsiferova I.V., Makarova E.N. Methods of nanomaterials production and possible ecologic risks // Vestnik PNIPIU. Mashinostroenie, materialovedenie. — 2013. — V. 15. — 4. — P. 59–66 (in Russian).
2. State Standard R 54597–2011/ISO/ TR 27628:2007 «Ultradispersed aerosols, nanoparticle aerosols and nanostructured aerosols. Characteristics and evaluation of effects, if inhaled» (ISO/TR 27628:2007 Workplace atmospheres — Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols — Inhalation exposure characterization and assessment (IDT) (in Russian).
3. ISO 7708:1995 Air quality — Particle size fraction definitions for health-related sampling (ËÑÏ 7708:1995)(last update 23/06/2009) (in Russian).
4. Eremin V.V., Drozdov A.A. Methods of synthesis and study of nanoparticles. Classification of nanoparticles synthesis methods. Lecture 2. www.nanometer.ru — Information portal of FNM MGU; www.ctr-nano.phys.msu.ru — site of collective usage in Lomonosov MSU; www.ntmdt.ru — site of NT-MDT company (in Russian).
5. Lysyov V.N., Murzin N.V. Problems of nano-technologies safety // Gig. i sanit. — 2007. — 46 p. (in Russian).
6. Onishchenko G.G., Tutel'yan V.A., Gmoshinskiy I.V., Khotimchenko S.A. Development of safety evaluation system and nanomaterials control in Russian Federation // Gig. i sanit. 2013. — 1. — P. 4–11 (in Russian).

7. Potapov A.I., Rakitskiy V.N., Tulakin A.V., Lutsenko L.A., Il'nitskaya A.V., Egorova A.M., Gvozdeva L.L. Nanoparticles and nanomaterials safety for natural and occupational environment // *Gig. i sanit.* — 2013. — 3. — P. 8–13 (in Russian).
8. Ulanova T.S., Zlobina A.V., Shekurova D.A. Results of evaluating parameters that characterize nanoparticles in air of workplace in titanium production // *Indust. med.* — 2013. — 11. — P. 37–41 (in Russian).
9. Aitken RJ, Creely KS, Tran CL, 2004. Nanoparticles: An Occupational Hygiene Review. Research Report 274. HSE, 2004. 113 p. <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr274.pdf>.
10. 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.
11. ASTM, USA, 2007. E 2535 Standard Guide for Handling Unbound Engineered Nanoscale Particles in Occupational Settings. <http://www.ors.od.nih.gov/sr/dohs/SafetyResources/Pages/forms.aspx>. <http://www.ors.od.nih.gov/sr/drs/Pages/default.aspx>.
12. Benetti F, Bregoli L., Olivato I., Sabbioni E. Effects of metal(loid)-based nanomaterials on essential element homeostasis: the central role of nanometallomics for nanotoxicology// *Metallomics.* — 2014. — V. 6. — № 4. — P. 729–747. DOI:10.1039/c3mt00167a.
13. Borm PJA, Schins RPF, Albrecht CA, 2004. Inhaled particles and lung cancer. Part B: Paradigms and risk assessment. *Int J Cancer*, 110 (1): 3–14. Review.
14. British Standard Institute (BSI) «Nanotechnologies — Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials», PD 6699–2:2007, UK, 2007.
15. Environmental Protection Agency, 2003. EPA nanotechnology and the environment applications and implications STAR Progress Review Workshop proceedings. Washington, D.C., EPA, 83p. http://www.ottawapolicyresearch.ca/EPA_Workshop.pdf.
16. Ferin J., 2004 Pulmonary retention and clearance of particles *Toxicol. Lett.* 72 121–125
17. Hoet PHM, Brüske-Hohlfeld I, Salata OV, 2004a. Nanoparticles — known and unknown health risks. *Jour-al of Nanobiotechnology*, 2 (1): 12–26. <http://www.jnanobiotechnology.com/content/pdf/1477-3155-2-12.pdf>.
18. ISO 7708:1995 Air quality — Particle size fraction definitions for health-related sampling (ËÑÏ 7708:1995).
19. Muller J, Huaux F, Moreau N, Misson P, Heilier JF, Delos M, Arras M, Fonseca A, Nagy JB, Lison D, 2005. Respiratory toxicity of multi-wall carbon nanotubes, *Toxicology and Applied Pharmacology*, 207. — P. 221–231.
20. Nanotechnology safety and health program. National Institutes of Health (NIH), Office of Research Services (ORS), Division of Occupational Health and Safety (DOHS). Technical Assistance Branch. Reviewed. — April 2012. P. 11.
21. Oberdorster G, 2001 Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 74 1–8. <http://www.jnanobiotechnology.com/content/pdf/1477-3155-2-12.pdf>.
22. Oberdorster G, 2005a. Inhaled Nano-sized Particles: Potential effects and Mechanisms. Proceedings of the First International Symposium on Occupational Health Implications of Nanomaterials, 12–14 October 2004, Buxton, Great-Britain. Edited by the Health and Safety Executive, Great-Britain and the National Institute for Occupational Safety and Health, United States, July 2005. http://www.hsl.gov.uk/capabilities/nanosymp_final.pdf.
23. Oberdorster G., Ferin J., Lehnert BE, 1994. Correlation between particle size, in vivo particle persistence, and lung injury. *Environ Health Perspect* 102 (Suppl 5). — P. 173–179.
24. Ostiguy C., Lapointe G., Ménard Luk. Studies and Research Projects. Health Effects of Nanoparticles. IRSST. Second Edition. Report R- 589. Montréal (Québec). 2008. 114 p. www.irsst.qc.ca.
25. Scenihl (2007): 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. — 53 p.
26. Takenaka S, Karg E, Roth C, Schulz H, Ziesenis A, Heinzmann U, Schramel P, Heyder J 2001 Pulmonary and systemic distribution of inhaled ultrafine silver particles in rats *Environ. Health Persp.* 109 (Suppl. 4). — P. 547–551 and references therein.
27. Witschger O, Fabriès JF, 2005. Particules ultra-fines et santé au travail 1- caractéristiques et effets potentiels sur la santé, INRS — Hygiène et sécurité du travail — Cahiers de notes documentaires — 2e trimestre 2005, 199. — P. 21–35.

Поступила 19.01.2016

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Луценко Лидия Александровна (Lutsenko L.A.),
зав. отд. мед. труда ФБУН «Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана», д-р мед. наук, проф. E-mail: lidamed@mail.ru.
- Ракитский Валерий Николаевич (Rakitskiy V.N.),
и.о. дир. ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, дир. ин-та гигиены, токсикол. пестицидов и хим. безопасности, акад. РАН, проф., д-р мед. наук, засл. деят. науки РФ. E-mail: pesticidi@yandex.ru.
- Ильницкая Александра Васильевна (Il'nitskaya A.V.),
гл. науч. сотр. лаб. гиг. тр. ФБУН «Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана», д-р мед. наук, проф. Тел.: 8(495) 582–9668.
- Егорова Анна Михайловна (Egorova A.M.),
вед. науч. сотр. отд. мед. труда ФБУН «Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана», д-р мед. наук. Тел.: 8(495) 582–9668.
- Гвоздева Любовь Львовна (Gvozdeva L.L.),
ст. науч. сотр. отд. мед. труда ФБУН «Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана», канд. мед. наук. Тел.: 8(495) 582–9668.