

## ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ КОМПОНЕНТОВ ЭНЕРГОЕМКИХ МАТЕРИАЛОВ

*Н.Г. Британов, Н.В. Крылова, И.К. Горкина, Б.Н. Филатов, В.В. Клаучек, Н.Г. Сазонова*

*ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии»  
Федерального медико-биологического агентства*

В производстве энергоемких материалов выявлено наличие частиц наноразмерной фракции. В воздухе рабочей зоны при операции вакуумной выгрузки пассивированного порошка алюминия обнаружены частицы диаметром 61–102 нм, на поверхностях технологического оборудования и в воздухе промышленной площадки – 43–61 нм. В отделении приготовления навесок нитроцеллюлозы размер частиц в воздухе рабочей зоны составлял 36–86 нм, на поверхностях технологического оборудования – 61–102 нм.

*Ключевые слова:* наночастицы, аэрозоли, производство энергоемких материалов, порошок алюминия, нитроцеллюлоза, производственная среда.

DOI 10.19163/1994-9480-2018-3(67)-63-66

## STUDING OF CONCENTRATION OF NANOSCALE AEROSOLS OF ENERGETIC MATERIAL COMPONENTS IN WORKING AREA

*N.G. Britanov, N.V. Krylova, I.K. Gorkina, B.N. Filatov, V.V. Klaucek, N.G. Sazonova*

*FSUE «Research Institute of Hygiene, Toxicology, and Occupational Pathology»  
of Federal Medical-Biological Agency*

Particles of nanoscale fraction were found in the process of energetic materials production. The particles with diameter of 61–102 nm were found in the air of working area, and the particles with diameter of 43–61 nm were found on the surfaces of technological equipment and in the air of industrial site in the process of vacuum unloading of passed aluminum powder. In the department of nitrocellulose weighted portions preparation, size of the particles was 36–86 nm in the air of working zone and 62–102 nm on the surfaces of technological equipment.

*Key words:* nanoparticles, aerosols, production of energy-intensive materials, aluminum powder, nitrocellulose, working area.

Наночастицы кардинально отличаются по комплексу физических, химических и биологических свойств от веществ в форме макроскопических дисперсий и сплошных фаз. Их присутствие в производственной среде может наносить вред, прежде всего здоровью соответствующего персонала предприятий [1, 3, 5, 6, 9, 10].

В технологическом цикле изготовления энергетических конденсированных систем широко применяются процессы, связанные с измельчением твердых материалов, классификацией сыпучих компонентов, их дозированием и смешением. Это, например, операции по просеиванию и дозированию тротила, аммиачной селитры, измельчение нитроцеллюлозы на дисковых мельницах, просеивание алюминиевой пудры и другие. Подобные процессы сопровождаются образованием большого количества аэрозолей, в том числе обладающих преимущественно фиброгенным действием. Следует отметить, что указанные процессы являются потенциальными источниками неконтролируемого образования наночастиц, способных загрязнять производственную среду. Вместе с тем в настоящее время для улучшения характеристик энергетических конденсированных систем все чаще находят применение наноматериалы. Наличие в производстве энергоемких материалов большого количества ручных операций способствует увеличению экспозиции персонала аэрозолями компонентов рецептур с ультра- и наноразмерной дисперсной

фазой, что не исключает возможность развития специфической патологии и отдаленных последствий их воздействия [7, 8].

Снижению концентраций аэрозолей в воздухе производственных помещений способствует применение различных видов укрытий и местных отсосов. Однако исследованиями показано, что для высокодисперсных аэрозолей общеобменная вентиляция малоэффективна, так как частицы наноразмерного диапазона в воздушной среде ведут себя иначе, чем более крупные. При скорости потока воздуха, преобладающей в рабочей зоне, наночастицы могут рассматриваться как объекты, не имеющие инерции. Для них характерна очень низкая скорость осаждения на поверхностях. Поэтому однажды попав в воздух, наночастицы будут долго в нем находиться [2, 4].

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение содержания в производственной среде наноразмерных аэрозолей компонентов энергоемких рецептур с определением их дисперсного состава.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор проб воздушной среды для определения присутствия и основных параметров наноразмерных твердых аэрозолей в воздухе рабочей зоны и промышленной площадки производств энергоемких материалов

выполняли в соответствии с авторской методикой, пригодной для применения в условиях взрывоопасного производства [8]. Отбор проб воздуха рабочей зоны проводили в начале и конце технологической операции. Смывы с оборудования брали перед началом первого отбора проб воздуха и по окончании второго отбора проб воздуха с того же участка, где был отобран первый смыв. Размеры частиц и их распределение по размерам в отобранных пробах определяли с помощью анализатора размеров частиц Nanotracer ULTRA (Microtrac).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованиями выявлено наличие в производственной среде предприятия по производству энергоемких материалов наноразмерных частиц различных фракций. В пробах воздуха рабочей зоны при операции вакуумной выгрузки пассивированного порошка алюминия в поглотительных растворах обнаружены частицы с размерами 61–102 нм, доля которых составила 79–88 % от всех частиц, присутствующих в пробе. В смывах с технологического оборудования также найдены частицы с размерами 43–61 нм, составляющие 77 % от всех частиц, присутствующих в пробе. В смывах со строительных конструкций (ступеньки лестницы) размер выявленных частиц составил 102–170 нм, что можно объяснить регулярной влажной уборкой и сравнительно быстрым оседанием более крупных частиц. При химическом анализе проб установлено присутствие в них алюминия.

В атмосферном воздухе промышленной площадки рядом со зданием, где проводятся операции по выгрузке пассивированного порошка алюминия, зарегистрированы частицы размером 43–61 нм, которые могли поступать в воздух промплощадки из низких организованных и неорганизованных источников выбросов здания.

В отделении приготовления навесок нитроцеллюлозы отбор проб в объектах производственной среды осуществлялся в ходе процессов приготовления навесок нитрованной целлюлозы, предназначенной для изготовления товаров народного потребления (лаков, красок), а также в период приготовления навесок нитроцеллюлозы для высокоэнергетических составов, имеющей меньшую влажность и дополнительно измельченную на дисковых мельницах. Следует отметить, что в данном помещении операции с другими веществами не проводятся.

Установлено, что в воздухе рабочей зоны при взятии навесок нитроцеллюлозы, предназначенной для изготовления товаров народного потребления, присутствует незначительное количество частиц размером 36–43 нм (66 % от всех частиц, присутствующих в пробе). Учитывая, что днем ранее готовились навески нитроцеллюлозы спецназначения, можно предположить, что обнаруженные частицы поступили в воздух при проведении именно этой операции, поскольку для ультрамелких частиц характерна очень низкая скорость осажде-

ния на поверхностях. В смывах с технологического оборудования также обнаружены частицы наноразмерного диапазона 61–102 нм (71–84 % от всех частиц, присутствующих в пробе), но более крупной фракции, чем в воздухе. Концентрация нитроцеллюлозы в смывах определена на уровне 5,7 мг/дм<sup>2</sup>.

Наибольшая концентрация ультрамелких частиц нитроцеллюлозы обнаружена в воздухе рабочей зоны во время проведения технологической операции приготовления навесок нитроцеллюлозы спецназначения. Обнаруженные фракции 43–86 нм составляли от 73 % до 93 % от всех частиц, присутствующих в пробе. Количественный химический анализ подтвердил наличие нитроцеллюлозы в пробах воздуха рабочей зоны. Смывы с технологического оборудования выполнялись после тщательной очистки исследуемых поверхностей до начала технологического процесса. В смывах, отобранных в течение процесса, присутствовали в основном частицы от 122 до 486 нм. При этом доля более мелких частиц увеличилась с течением времени.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования подтвердили предположение о возможности загрязнения наночастицами алюминия и нитроцеллюлозы рабочей зоны в процессе производства высокоэнергетических материалов, что обуславливает актуальность продолжения исследований с целью количественной оценки реальной опасности (вредности) для здоровья персонала содержания взвешенных наночастиц в воздухе рабочей зоны и на технологическом оборудовании с учетом оценки их фракционного состава.

Продолжение исследований позволит подтвердить обоснованность ранее действующих гигиенических нормативов для макроформ алюминия и целлюлозы или даст основание для их коррекции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Британов Н.Г., Горкина И.К., Клаучек В.В. и др. Гигиенические проблемы, связанные с производством и применением искусственных наноматериалов // Актуальные гигиенические аспекты нанотоксикологии: теоретические основы, идентификация опасности для здоровья и пути ее снижения: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием (Екатеринбург, 20–21 октября, 2016 г.). – Екатеринбург: Изд-во ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 2016. – С. 11–13.
2. Величковский Б.Т. Об экспресс-методе прогнозирования возможного патологического влияния наночастиц на организм // Нанотехнологии и наноматериалы в медицине труда и промышленной экологии. Проблемы и пути обеспечения безопасности: сб. докл. Пленума Научного совета по медико-экологическим проблемам здоровья работающих: под ред. Н.Ф. Измерова. – М.: НИИ МТ РАМН, 2009. – С. 7–17.
3. Горкина И.К., Пильдус И.Э. Проблемы санитарно-химического контроля наночастиц металлов в воде //

Нанотоксикология: достижения, проблемы и перспективы: Матер. науч. конф. – Волгоград: Станица-2, 2014. – С. 32–34.

4. ГОСТ Р 54597—2011/ISO/TR 27628:2007. Ультрадисперсные аэрозоли, аэрозоли наночастиц. Определение характеристик и оценка воздействия при вдыхании. – Введ. 2011–12–01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 31 с.

5. Филатов Б.Н. Санитарно-гигиенические проблемы производства и применения нанопродуктов // Токсикологические и нормативные аспекты производства и применения наноматериалов в России: Тез. междунар. конф. – М.: 2009. – С. 51.

6. Филатов Б.Н., Бочарова Л. Ю., Клаучек В. В. и др. Производство и применение наноматериалов (токсиколого-гигиенические проблемы) [Электронный ресурс] // Биомедицинский журнал Medline.ru. – 2015. – Т. 16, ст. 22. – С. 259–266. URL: <http://www.medline.ru/public/art/tom16/art22.html>.

7. Филатов Б.Н., Британов Н.Г., Клаучек В.В. и др. Гигиенические и экологические аспекты эксплуатации предприятий по производству порохов // Безопасность химических предприятий. Медицинские и гигиенические проблемы: материалы науч.-практ. конф. – Волгоград: ООО «Сфера», 2015. – С. 13–17.

8. Филатов Б.Н., Британов Н.Г., Клаучек В.В. и др. Проблемы индикации опасности для здоровья персонала производств энергоемких материалов при загрязнении наноразмерными аэрозолями твердых компонентов рецептур // Известия Российской Военно-медицинской академии. – 2017. – Т. 36, № 2, прил.1. – С. 24–25.

9. Филатов Б.Н., Вареник В.И., Николаев В.А. и др. Перспективы развития токсикологии с позиций нанотехнологий и синтетической биологии // Сб. трудов IV съезда токсикологов России, 6–8 ноября 2013 г. Москва. – М.: Изд-во Capital Press, 2013. – С. 45–46.

10. Филатов Б.Н., Точилкина Л.П., Бочарова Л.Ю. и др. Токсиколого-гигиенические аспекты проблемы безопасности производства продукции на основе наночастиц золота // Токсикологический вестник. – 2010. – № 3. – С. 30–33.

## REFERENCES

1. Britanov N.G., Gorkina I.K., Klauchek V.V. et al. Gigenicheskiye problemy, svyazannyye s proizvodstvom i primeneniem iskusstvennykh nanomaterialov [Hygienic problems regarding production and using of engineered nanomaterials]. In Aktualnye gigenicheskiye aspekty nanotoksikologii: teoreticheskiye osnovy, identifikatsiya opasnosti dlya zdorovia i puti eyo snizhenia: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Ekaterinburg, 20–21 oktyabrya, 2016 g.) [Actual hygienic aspects of nanotoxicology: theoretical bases, identification of danger for health and the ways of its reducing: Materials of All-Russia scientific-practical conference with international participation held on October 20–21, 2016 in Ekaterinburg]. Ekaterinburg, 2016. P. 11–13. (In Russ.; abstr. in Engl.)

2. Velichkovskiy B.T. Ob ekspress-metode prognozirovaniya vozmozhnogo patologicheskogo vliyaniya nanochastits na organism [About express method for prognostication of possible pathological impact of nanoparticles on the organism]. In Nanotekhnologii i

nanomaterialy v meditsine truda i promyshlennoy ekologii. Problemy i puti obespechenia bezopasnosti: sbornik dokladov Plenuma Nauchnogo soveta po medicokoologicheskim problemam zdorovia rabotayuschikh [Nanotechnologies and nanomaterials in occupational medicine and industrial ecology. Problems and ways to provide safety. Papers of plenary session of Scientific Council on medical-ecological problems regarding workers health]. Edited by N.F. Izmerov. Moscow, 2009. P. 7–17. (In Russ.; abstr. in Engl.)

3. Gorkina I.K., Pildus I.E. Problemy sanitarnokhimicheskogo kontrolya nanochastits metallov v vode [Problems of sanitary and chemical control of metal nanoparticles in water]. In Nanotoksikologia: dostizhenia, problemy i perspektivy: materialy nauchnoy konferentsii [Nanotoxicology: advances, problems and prospects: materials of scientific conference]. Volgograd, 2014. P. 32–34. (In Russ.; abstr. in Engl.)

4. GOST R 54597—2011/ISO/TR 27628:2007 [State standard R 54597—2011/ISO/TR 27628:2007]. Ultradispersnyye aerezoli, aerezoli nanochastits. Opredelenie kharakteristik i otsenka vozdeystviya pri vdyhanii [Ultradispersed aerosols, aerosols of nanoparticles. Determination of characteristics and assessment of inhalational exposure]. Brought into use on December 1, 2011. Moscow, 2012, 31 p.

5. Filatov B.N. Sanitarno-gigenicheskiye problemy proizvodstva i primeneniya nanoproduktov [Sanitary and hygienic problems of nanoproducts production and using]. In Toksikologicheskii i normativnyye aspekty proizvodstva i primeneniya nanomaterialov v Rossii: tezisyy mezhdunarodnoy konferentsii [Toxicological and regulatory aspects of production and using of nanomaterials in Russia: summaries of international conference]. Moscow, 2009. P. 51. (In Russ.; abstr. in Engl.)

6. Filatov B.N., Bocharova L.Yu., Klauchek V.V. et al. Proizvodstvo i primeneniya nanomaterialov (toksikologogigenicheskiye problemy) [Jelektronnyj resurs] [Production and using of nanomaterials (toxicological-hygienic problems)]. *Biomeditsinsky zhurnal Medline.ru* [Biomedical journal Medline.ru], 2015, Vol. 16, article 22, pp. 259–266. Available at: <http://www.medline.ru/public/art/tom16/art22.htm>. (In Russ.; abstr. in Engl.)

7. Filatov B.N., Britanov N.G., Klauchek V.V. et al. Gigenicheskiye i ekologicheskiye aspekty ekspluatatsii predpriyatyy po proizvodstvu porohov [Hygienic and ecological aspects of exploitation of facilities producing low explosives]. In Bezopasnost khimicheskikh predpriyatyy. Meditsinskiye i gigenicheskiye problemy: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Safety of chemical enterprises: materials of scientific-practical conference]. Volgograd, 2015. P. 13–17. (In Russ.; abstr. in Engl.)

8. Filatov B.N., Britanov N.G., Klauchek V.V. et al. Problemy indikatsii opasnosti dlya zdorovia personala proizvodstv energoemkikh materialov pri zagryaznenii nanorazmernymi aerezolyami tvorydykh komponentov retseptur [Problems of indication of danger for health of personnel working at production of energetic materials under conditions of pollution with nanoscale aerosols of solid ingredients of formulations]. *Izvestia Rossiyskoy VoЕННО-Meditsinskoy akademii* [News of Russian Military-Medical Academy], 2017, Vol. 36, No. 2, appl. 1, pp. 24–25. (In Russ.; abstr. in Engl.)

9. Filatov B.N., Varenik V.I., Nikolayev V.A. et al. Perspektivy razvitiya toksikologii s pozitsy nanotekhnology i sinteticheskoy biologii [Prospects of toxicology development in the context of nanotechnologies and synthetic biology]. In Sbornik trudov IV s'ezda toksikologov Rossii [Collected papers of IV meeting of Russian toxicologists held on November 6–8, 2013]. Moscow, 2013. P. 45–46. (In Russ.; abstr. in Engl.).

10. Filatov B.N., Tochilkina L.P., Bocharova L.Yu. et al. Toksikologo-gigienicheskie aspekty problemy bezopasnosti proizvodstva produktsii na osnove nanochastits zolota [Toxicological and hygienic aspects of the problem regarding manufacturing of gold nanoparticles-based products]. *Toksikologichesky vestnik* [Toxicological Bulletin]. 2010, no. 3, pp. 30–33. (In Russ.; abstr. in Engl.).

---

### **Контактная информация**

**Клаучек Валентина Васильевна** – д. м. н., заместитель директора по научной работе ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии» Федерального медико-биологического агентства, e-mail: [klauchek@rihtop.ru](mailto:klauchek@rihtop.ru)