

Фотография предоставлена: Hinkle Group, на условиях лицензии CC BY-NC-ND 2.0

## Наноматериалы: применение принципа предосторожности

### Наноизмерения — новые открытия в отношении давно известных материалов

Нобелевская премия по химии за 2016 год была присуждена Жану-Пьеру Соважу, сэру Джеймсу Фрезеру Стодарту и Бернарду Лукасу Феринга по результатам их тридцатилетнего изучения способов конструирования и синтеза молекулярных машин, которые были продемонстрированы с помощью «автомобиля» длиной четыре нанометра с четырьмя колесами, приводимыми в движение молекулярными двигателями.<sup>1</sup> Ученые продолжили расширять границы и исследовать новые технологии: в данном случае — новаторские решения за пределами физических ограничений, реализующие потенциальные возможности в целях неисчислимого множества применений в повседневной жизни. Недавние достижения в области нанотехнологий и нанонауки привели к созданию материалов нанометровых размеров с неожиданно возникающими физическими и химическими свойствами, преобразующими мир.<sup>2, 3, 4</sup>

Наноматериалы состоят из частиц нанометровых размеров в пределах менее 100 нанометров в по меньшей мере одном

измерении: нанометр — это одна миллиардная часть метра или приблизительно в 80 000 раз меньше толщины человеческого волоса. Наноматериалы существовали и ранее, и не все из них были синтезированы; они встречаются в естественных условиях, и они существуют повсюду. Новое заключается в том, что мы обретаем способность формировать их из обычных материалов для того или иного функционального предназначения.

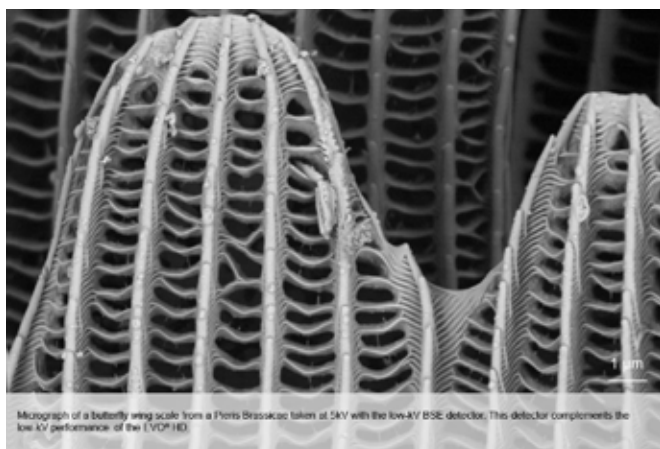
В мире природы наноматериалы существуют в скелетах планктона и кораллов; клювах и перьях птиц; шерсти и костном матриксе животных, включая человека; паучьей паутине; чешуйках и крыльях; и даже в бумаге, шелке и хлопке. Наряду с этим в природе встречаются неорганические наноматериалы, например, некоторые виды глины, вулканический пепел и сажа, межзвездная пыль и некоторые минералы. Природные наноматериалы по существу представляют собой результат химических, фотохимических, механических, термических и биологических процессов.<sup>5, 6</sup>

Научные исследования дают основания предположить, что некоторые из методов изготовления препаратов, используемые



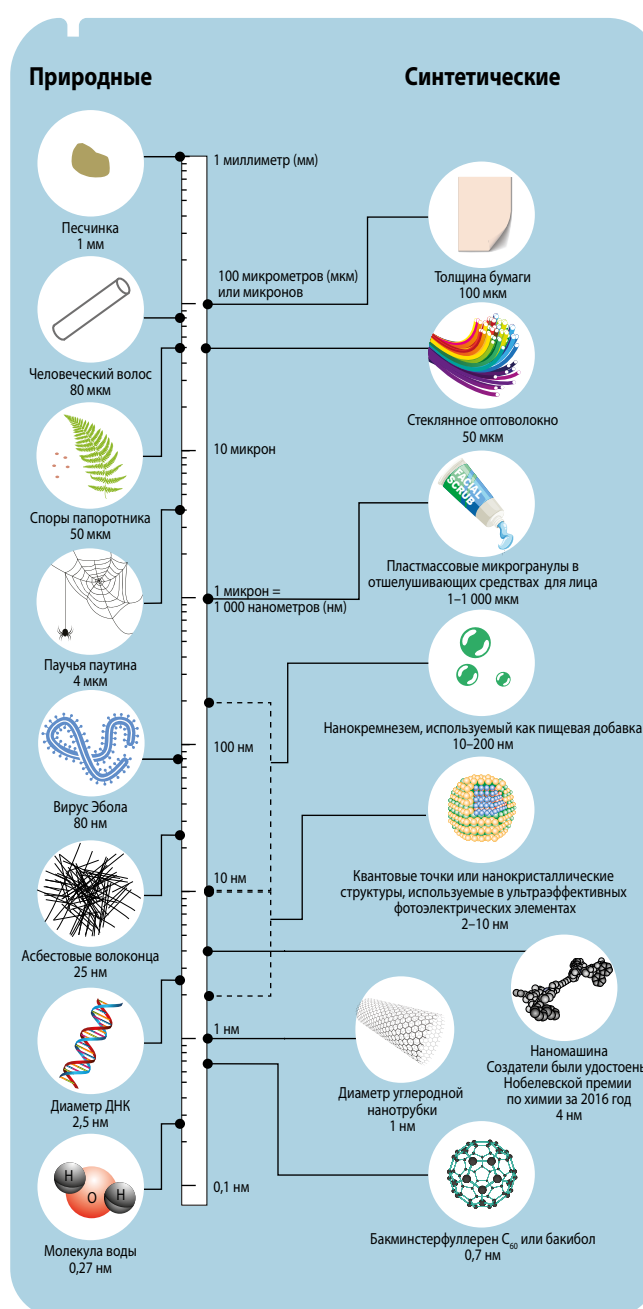
в традиционной медицине, такие как обжиг, самопроизвольно приводят к образованию наноматериалов и формированию их особых свойств.<sup>7,8</sup> Наряду с этим, исследователи изучают средневековое оружие, например лезвия из дамасской стали, чтобы проверить теорию, согласно которой в конкретные и превращенных в ритуал способахковки и отжига образующиеся наноматериалы использовались для повышения прочности и ковкости стали.<sup>9, 10</sup>

В мире, насыщенном техническими устройствами, наноматериалы преднамеренно разрабатываются и синтезируются для конкретных применений в оптике, электронике, механике, медицине и ферментотерапии с использованием широкого диапазона микротехнологий. В наши дни наноматериалы находят широкое применение в самой разнообразной продукции, например, продуктах питания, косметике, средствах личной гигиены, противомикробных и дезинфицирующих средствах, одежде и электронных устройствах. Наряду с ажиотажем вокруг возможностей, которые могли бы открыть специально разработанные наноматериалы, возникают и вопросы относительно экологической безопасности наноматериалов, а также их производства и различных видов применения. В наших знаниях по-прежнему существуют значительные пробелы в отношении того, что именно можно сделать с помощью наноматериалов и каковы потенциальные последствия их использования. Несмотря на то, что множество других наноматериалов находятся в процессе разработки, существует серьезный риск того, что мы еще недостаточно осведомлены о последствиях долгосрочного воздействия этих материалов на здоровье человека или состояние окружающей среды, чтобы использовать их без принятия более жестких мер предосторожности.



Наноразмерная чешуйка крыла бабочки капустной (*Pieris brassicae*)

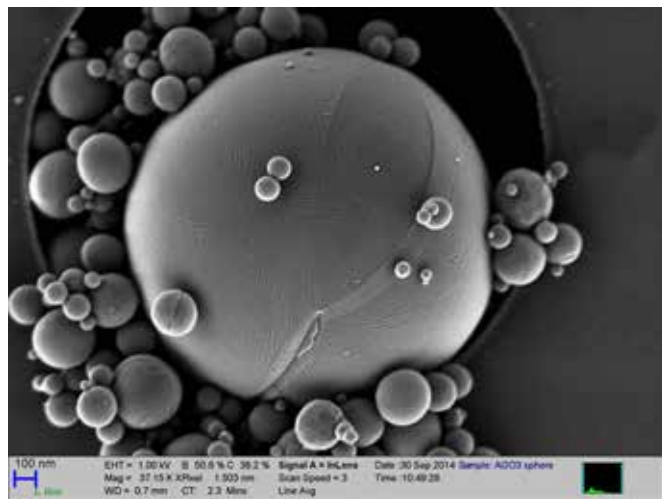
Фотография предоставлена: ZEISS Microscopy, на условиях лицензии CC BY-NC-ND 2.0



## Конкретные формы, применения и факторы воздействия

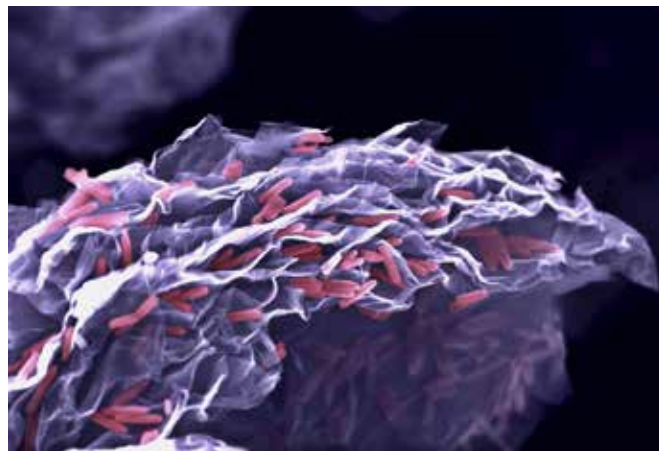
В сказке Льюиса Кэрролла «Алиса в Стране чудес» девочка Алиса проглатывает волшебное снадобье, которое делает ее очень маленькой. При своем новом росте она получает способность проникнуть в мир животных и персонажей, которые ведут себя необычно — совсем не так, как в более крупных мирах. На уровне наноразмеров физические, химические, оптические, магнитные и электрические свойства и поведение материалов значительно изменяются по сравнению с теми же самыми материалами в более крупных размерах. Это происходит по причине кардинального увеличения отношения поверхности к объему и появления квантовых эффектов по мере того, как частицы материала становятся меньше. Получение наноразмерной версии того или иного материала может придать активность таким материалам, которые в ином случае являются инертными. Например, крупнозернистое золото диамагнитно — оно очень слабо реагирует на воздействие магнитного поля — но наночастицы золота обладают необычными магнитными свойствами.<sup>11</sup>

Подобно своим крупноразмерным аналогам наноформы металлов, например серебра, титана, цинка, и их оксидов используются в солнцезащитных кремах, зубной пасте, косметике, продуктах питания, красителях и одежде.<sup>12</sup> По причине своих противомикробных свойств наносеребро широко применяется при изготовлении многих потребительских товаров, таких как текстильные изделия для занятий спортом, обувь, дезодоранты, средства личной гигиены, стиральный порошок и стиральные машины.



Наносферы оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Фотография предоставлена: ZEISS Microscopy, на условиях лицензии CC BY-NC-ND 2.0



Наностержни оксида железа (III) ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), выращенные на восстановленном оксиде графена для применения в конденсаторах большой емкости

Фотография предоставлена: Dilek Ozg/Engineering at Cambridge, на условиях лицензии CC BY-NC-ND 2.0

Наноалмазы демонстрируют функциональные характеристики, позволяющие им проникать сквозь гематоэнцефалический барьер и целенаправленно доставлять лекарственные средства внутрь множества видов злокачественных опухолей.<sup>13, 14</sup> По причине своей флуоресцентности, оптических и электрохимических свойств наноалмазы используются в передовых технологиях биоинтроскопии и считаются перспективным материалом для передачи сигналов, характеризующих функциональное здоровье мозга.<sup>15, 16</sup>

Наноферменты — это наноматериалы с характерными для них ферментоподобными свойствами, разработанные для целей измерения биологических параметров, биоинтроскопии, диагностики и лечения опухолей.<sup>17</sup> Наряду с этим, они находят свое применение в технологиях предотвращения обрастания морскими водорослями, удаления загрязнителей и мониторинга окружающей среды.

Углеродные наноматериалы могут воплощаться в разных конфигурациях и формах. Графен — это лист из углерода толщиной в один атом. Углеродные нанотрубки по существу представляют собой листы графена, свернутые в форме бесшовных полых цилиндров с диаметрами порядка одного нанометра.<sup>18</sup> Открытый в 1985 году бакминстерфуллерен или бакибол — это сферическая структура, состоящая из 60 атомов углерода, получившая свое название по имени Р. Бакминстера Фуллера, ставшего знаменитым в результате разработки конструкции «геодезических куполов».

Углеродные нанотрубки обладают поразительными свойствами. Они прочнее стали, проводят электричество лучше меди и



# Наноматериалы

## Что такое наноматериал?

**Наноматериал** — это материал, любой из наружных размеров которого находится в пределах **менее 100 нанометров**, а один нанометр — это одна миллиардная часть метра

**Наноматериалы** могут быть **природными** или **синтетическими**, которые изготавливаются путем получения наноразмерных частиц широко используемых материалов, таких как углерод, оксиды металлов и драгоценные металлы

На уровне наноразмеров **свойства и поведение** материала значительно изменяются по сравнению с крупнозернистыми формами того же самого материала. Это обусловлено увеличением **отношения поверхности к объему и квантовыми эффектами**

## Глобальный рынок наноматериалов

Годовые темпы роста — **20,7%**

Согласно прогнозам, к 2022 году достигнет **55 млрд долл. США**

Крупнозернистый материал



Наноразмерный материал



По мере уменьшения размеров частиц материала отношение поверхности к объему увеличивается, что повышает способность материала вступать в химические реакции с близлежащей окружающей средой

Миниатюрные размеры и высокое отношение поверхности к объему, которые придают наноматериалам их необыкновенные свойства, также **преобразуют то, каким образом они взаимодействуют** с биологическими системами и накапливаются в них, например, начиная с окружающей среды, живых организмов, органов, клеток и вплоть до уровня ДНК

Изменение свойств материала посредством его превращения в наноразмерные частицы может **усилить его воздействие на здоровье человека и состояние окружающей среды**

## Неблагоприятные последствия

К примеру, углеродные нанотрубки выглядят и ведут себя подобно волокнам асбеста. По причине их длины и заостренности они могут пронзать ткани организма и приводить к их воспалению и фиброзу во многом аналогично последствиям подверженности воздействию асбеста. Наносеребро может нарушать функционирование иммунной системы и приводить к отклонениям от нормы в процессах экспрессии генов

Если мы хотим реализовать потенциал наноматериалов в полном объеме, мы также должны **предвидеть их воздействие**, поскольку в ином случае мы подвергаем себя риску столкнуться с куда большими последствиями в будущем.



**Наносеребро** широко применяется в различной продукции, например, в текстильных изделиях, средствах личной гигиены и ухода за здоровьем, медицинских приборах и продуктах питания, по причине его противомикробных свойств



**Наноалмазы** используются в целях биомедицинской визуализации по причине своих люминесцентных свойств, высокой химической инертности и биосовместимости



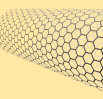
Уникальные **механические, магнитные, электрические и оптические** свойства наноматериалов обеспечивают нескончаемые возможности их прикладного применения в фармацевтике, биомедицине, электронике и при создании материалов с заданными свойствами



Благодаря своим магнитным свойствам **наночастицы оксида железа** весьма перспективны с точки зрения целенаправленной доставки лекарственных средств в нужное место при лечении злокачественных опухолей, диагностической визуализации в медицине и очистки воды от примесей мышьяка



Похожая на футбольный мяч структура из 60 атомов углерода, известная под названием **бакминстерфуллерен (C<sub>60</sub>)** или бакибол, потенциально может использоваться для лечения дистрофии костной и хрящевой тканей, а также скелетно-мышечных нарушений и расстройств костного мозга



**Углеродная нанотрубка** — это лист углерода толщиной в один атом, свернутый в бесшовный цилиндр. Она в 117 раз прочнее стали того же диаметра и проводит электрический ток лучше меди.

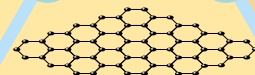


Углеродные нанотрубки широко используются в литий-ионных аккумуляторах, легких лопатках турбин и кабелях для передачи данных. Области потенциального применения включают культивирование и регенерацию тканей организма, а также использование в качестве биомаркеров злокачественных опухолей.

## Области применения



Специально разработанные наноматериалы присутствуют в **разнообразных товарах широкого потребления**, например, продуктах питания, косметике, дезинфицирующих средствах, кухонной утвари, товарах для младенцев, одежде, тканях, электронных устройствах и бытовых приборах.



**Графен** — это лист из атомов углерода толщиной в один атом. Области его потенциального применения включают системы доставки лекарственных средств, транспортировку молекул, культивирование тканей организма и имплантаты.



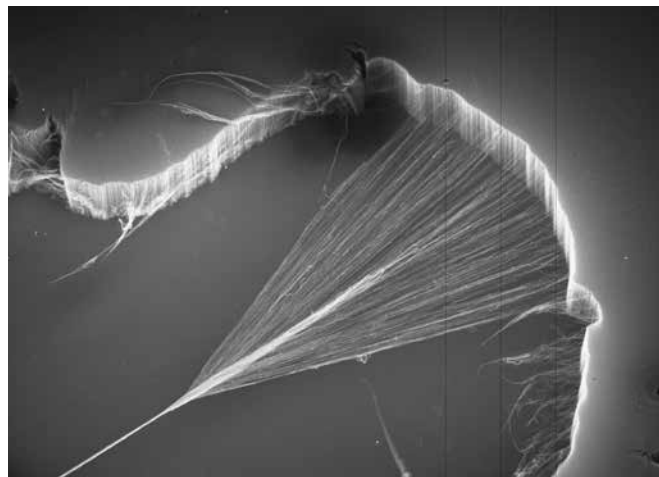
Для того, чтобы риски были сведены к минимуму, а здоровью человека и безопасности окружающей среды не наносился урон, необходимо создавать циклически повторяющиеся и реагирующие на изменение обстановки **нормативные механизмы, основанные на принципе предосторожности**

отличаются большей теплопроводностью по сравнению с алмазами. Углеродные нанотрубки широко используются в литий-ионных аккумуляторах для портативных компьютеров и мобильных телефонов, легковесных лопатках турбин ветрогенераторов, лодочных корпусах, кабелях для передачи данных, а также биодатчиках и медицинских устройствах.<sup>19</sup> В мировом масштабе производственные мощности для изготовления углеродных нанотрубок в коммерческих целях в настоящее время превышают несколько тысяч тонн в год.

По мере того, как специально разработанные наноматериалы заменяют более традиционные материалы в повседневной используемой продукции, жизненно важно располагать знаниями о вредных последствиях использования таких материалов. Если мы хотим реализовать потенциал наноматериалов в полном объеме, мы также должны предвидеть их воздействие на состояние окружающей среды и здоровье человека; в ином случае мы подвергаем себя риску столкнуться с куда большими опасностями в будущем.<sup>20</sup>

Изменение свойств материала посредством его превращения в наноразмерные частицы может усилить его воздействие на состояние окружающей среды и здоровье человека. В случае наносеребра, его токсичность может стать причиной аргироза, в результате которого кожа навсегда приобретет металлический синеватый оттенок; воспаления дыхательных путей; перестройки функций органов тела и нарушений в иммунной системе, а также экспрессии генов.<sup>12, 21, 22</sup> Подверженность воздействию наночастиц серебра может приводить к стрессовым реакциям и изменениям генома бактерий, что может вносить свой вклад в развитие генов устойчивости к противомикробным веществам.<sup>12, 23</sup> Двуокиси кремния и титана могут стать причиной воспаления дыхательных путей.<sup>24</sup>

Одновременно с непрерывным открытием новых биомедицинских и терапевтических применений фуллеренов, включая бакиболы  $C_{60}$ , эти поразительные наноматериалы также исследуются на предмет потенциальных последствий их воздействия на клетки, экспрессию генов, иммунную функцию, метаболизм и фертильность.<sup>25</sup> Углеродные нанотрубки и углеродные нановолокна демонстрируют свою способность повреждать кожу и ткани глаза, легких и мозга и накапливаться в теле человека.<sup>26, 27</sup>

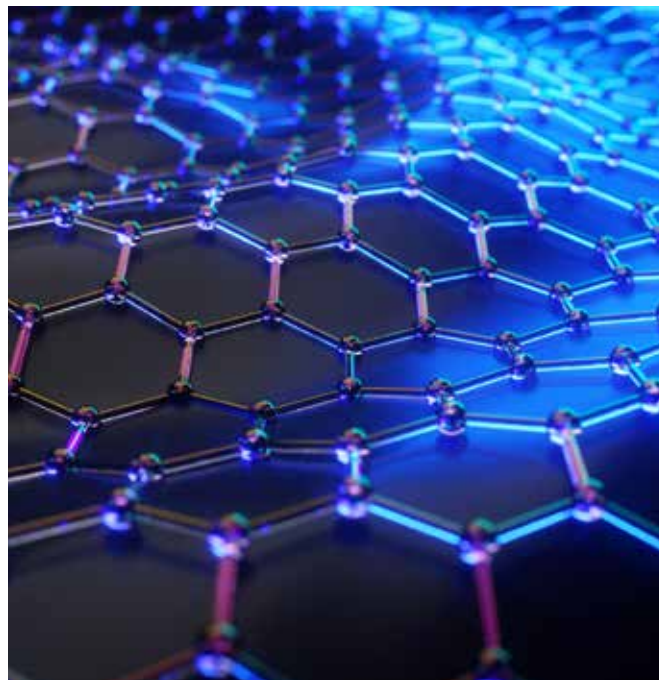


Углеродные нанотрубки в процессе свивания пряжи

Фотография предоставлена: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)



**Видеоматериал: Графен – материал будущего**



Видеоматериал доступен по адресу:

<https://www.youtube.com/watch?v=TFo2xShvtj0>

Фотография предоставлена: Olive Tree/Shutterstock.com

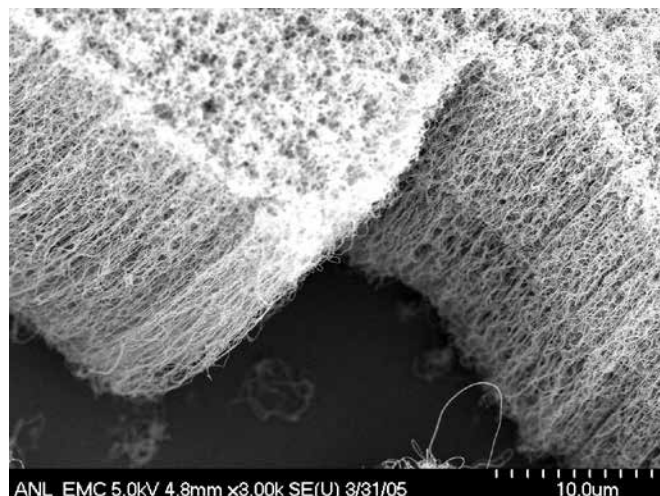
© DW Tomorrow Today



## Подверженность воздействию специально разработанных наноматериалов на состояние окружающей среды и здоровье человека

Согласно прогнозам, мировой рынок нанотехнологий будет расти темпами порядка 18 процентов в год, и к 2025 году его объем составит примерно 174 миллиарда долларов США.<sup>28</sup> Увеличение производства и использования специально разработанных наноматериалов в различных отраслях промышленности, вероятно, приведет к их непреднамеренному высвобождению в окружающую среду в любой момент на протяжении жизненного цикла продукции.<sup>39</sup> Например, наносеребро из одежды и тканей высвобождается во время стирки; наночастицы двуокиси титана в красителях и строительных материалах выбрасываются в воздух и воду под воздействием погодных факторов; и углеродные нанотрубки распыляются в воздухе в процессе производства или в результате выщелачивания из выброшенных литий-ионных аккумуляторов и попадают в почву и грунтовые воды.<sup>19, 30, 31</sup>

Чтобы оценить потенциальные риски для здоровья человека и состояния окружающей среды, критически важно понять условия подверженности воздействию специально разработанных наноматериалов и его неблагоприятные последствия.<sup>32</sup> В настоящее время в наличии имеется ограниченное количество исследований, объясняющих, что именно происходит со специально разработанными наноматериалами после их высвобождения в атмосферу, почву, осадочные породы, воду и биоту, включая их поведение, концентрацию, перенос, распределение, преобразования, биологическую усвояемость, биоаккумуляцию в пищевых цепях и биохимические взаимодействия с экологическими сообществами.<sup>29, 33-36</sup> Напротив, объем знаний



Выровненные углеродные нанотрубки

Фотография предоставлена: Junbing Yang/Argonne National Laboratory, на условиях лицензии CC BY-NC-SA 2.0

и свидетельств о последствиях токсического воздействия наноматериалов расширяется. Полученные результаты дают основания предположить, что наноматериалы могут становиться причиной широкого спектра неблагоприятных последствий для здоровья человека. Сравнительные исследования токсичности давно известных материалов, частиц и волокон, конфигурация и химические характеристики которых аналогичны свойствам наноматериалов, например асбеста, тонкодисперсных частиц и выхлопных газов, образующихся при сжигании дизельного топлива, позволяют разобраться в потенциальных угрозах здоровью человека в результате подверженности воздействию наноматериалов.<sup>37</sup> Более того, то, что нам стало известно из опыта обращения с этими хорошо известными опасными веществами, могло бы также помочь нам лучше подготовиться к воздействию менее изученных наноматериалов.

Установлено, что углеродные нанотрубки обладают характеристиками, аналогичными свойствам волокон асбеста.<sup>38</sup> Они имеют иглообразную форму, и как первые, так и вторые не выводятся из организма. Они могут пронзать ткань легких и приводить к их воспалению.<sup>39</sup> Свидетельства опасности, которой подвергается здоровье людей, работающих с асбестом, появились еще в 1898 году, когда они были собраны Люси Дин, одной из первых женщин-инспекторов фабричного производства в Великобритании.<sup>40</sup> Она отметила, что работа с асбестом представляет собой «явную опасность для здоровья рабочих... по причине подтвержденных случаев травмирования бронхов и легких, отнесенных с медицинской точки зрения на счет работы пострадавшего лица по найму».



Волокна асбеста при увеличении в 1 500 раз с помощью сканирующего электронного микроскопа

Фотография предоставлена: US Centers for Disease Control and Prevention / John Wheeler / Janice Haney Carr





Работники, лежащие на асбестовых матрацах, которые они изготовили на фабрике в графстве Ланкашир, Великобритания, сентябрь 1918 года

Фотография предоставлена: © Imperial War Museum (Q 28250)

В 1982 году в телевизионном документальном фильме «Алиса: борьба за жизнь» была показана судьба Алисы Джефферсон, 47-летней женщины, у которой развилась мезотелиома — смертельная форма рака, в результате работы в течение нескольких месяцев на местном заводе по производству асбеста в Великобритании.<sup>20</sup> История жизни Алисы оказала мгновенное воздействие на британское общественное мнение. Правительство отреагировало введением нормативных правил лицензирования в отношении использования асбеста, которые понизили предельные уровни подверженности воздействию асбеста. Вскоре за этим последовала схема добровольной маркировки. Давление продолжало нарастать, равно как научно установленные свидетельства эпидемии мезотелиомы в результате подверженности воздействию асбеста в прошлом.<sup>41</sup>

Однако использование всех видов асбеста было запрещено в Великобритании только в 1999 году — спустя 101 год после того, как свидетельства вреда начали накапливаться, а тысячи людей умерли по причине асбестоза или связанных с ним злокачественных опухолей. В наши дни по-прежнему прилагаются усилия к тому, чтобы свести к минимуму риск подверженности воздействию асбеста для рабочих, участвующих в реконструкции и текущем ремонте зданий, содержащих асбест.<sup>42</sup>

Вопрос стоит так: «Какие уроки мы можем извлечь из целого века борьбы за понимание и принятие мер к устранению смертельных опасностей, проистекающих из подверженности воздействию асбеста, при регулировании обращения и обеспечения безопасности наноматериалов в будущем?»

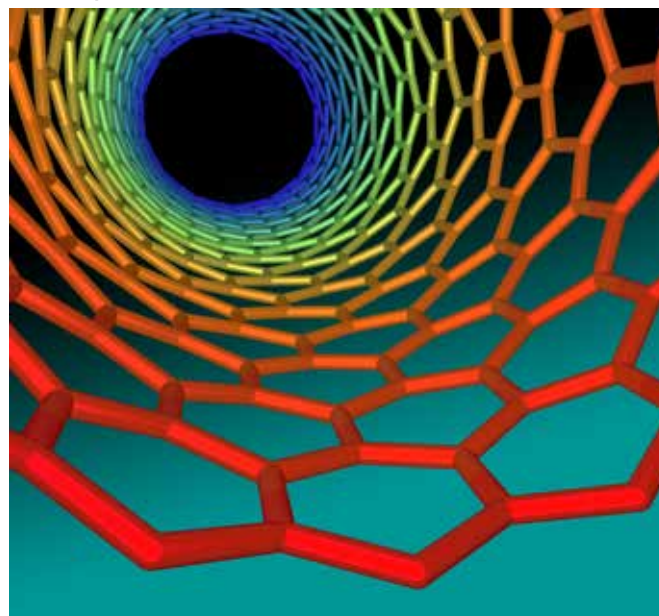
## Надлежащие нормативные правила охраны здоровья и экологической безопасности

Из нашего опыта использования асбеста и других опасных материалов нам известно, что перечень потенциальных угроз обширен. С экологической точки зрения, подверженность воздействию специально разработанных наноматериалов неизбежна. Их неблагоприятное воздействие и способность накапливаться могут повлечь за собой значительные последствия для организмов, экосистем и пищевых цепей.<sup>32, 35, 43, 44</sup> Проникновение этих материалов в ротовую полость, на кожные покровы и в дыхательные пути может приводить к воспалениям и фиброзам, нарушать метаболизм и функционирование органов тела, а также становиться причиной повреждения ДНК и генетической нестабильности.<sup>22, 26, 45, 46</sup>

Темпы промышленного развития значительно превышают темпы развития нормативно-правовой базы. В отсутствие долгосрочного мониторинга и научной информации о многих аспектах токсичности и токсикологии наноматериалов, конкретные нормативные правила будут появляться медленно, несмотря на нарастающие симптомы потенциальной подверженности воздействию и рисков.<sup>47</sup>



**Видеоматериал:** Станут ли углеродные нанотрубки очередным асбестом?



Видеоматериал доступен по адресу: <https://www.youtube.com/watch?v=6L7xXgWcbrQ> © Museum of Life and Science  
Фотография предоставлена: Geoff Hutchison, на условиях лицензии CC BY 2.0



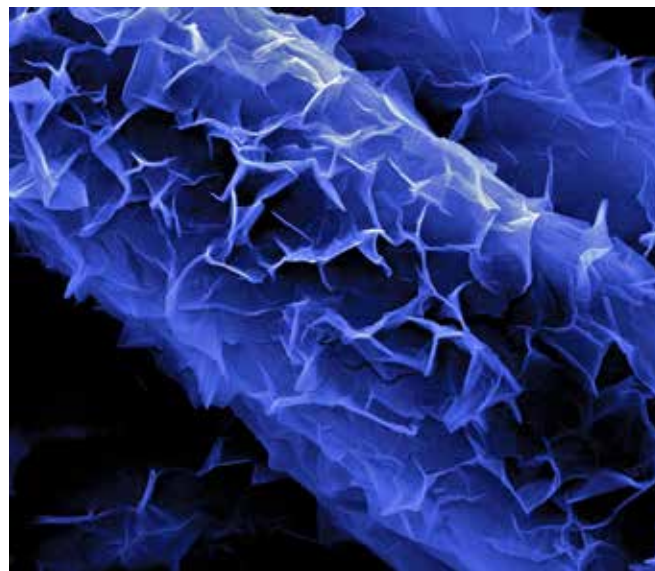
Как и в случае с асбестом, первыми из людей, подвергающихся воздействию наноматериалов, становятся рабочие. Первые из немногих исследований, проведенных в конце 1990-х годов и начале 2000-х годов с целью оценки профессиональной подверженности воздействию углеродных нанотрубок, проложили путь к дальнейшим обследованиям рабочих мест и повлекли за собой принятие в 2007 году первых руководящих принципов ИСО по характеристике профессиональной подверженности воздействию наноаэрозолей.<sup>48, 49</sup>

На основе исследований состояния животных, подвергнутых воздействию углеродных нанотрубок и углеродных нановолокон Национальный институт по охране труда и промышленной гигиене (США) счел установленные факты возникновения воспаления легких, гранулем и фиброза у экспериментальных животных достаточно значимым основанием для начала работы по установлению рекомендуемого предельно допустимого уровня воздействия.<sup>22</sup> Организация экономического сотрудничества и развития приступила к реализации многолетних программ получения токсикологических данных по широкому кругу наноматериалов с целью внесения поправок в существующие руководящие принципы их испытаний производителями.<sup>50</sup>

По причине широкой сферы применений регулирующим органам необходимо полагаться на существующие нормативно-правовые акты, регулирующие такие области, как химические вещества, фармацевтические препараты, косметика, продукты питания, загрязнение окружающей среды, отходы и маркировка, с целью включения в них положений, относящихся к наноматериалам.<sup>51</sup> Однако, наряду с этим существуют проблемы, связанные с применением действующих нормативных механизмов в отношении наноразмерных материалов.<sup>47</sup> Например, уменьшение размера частиц материала может не повлечь за собой какой-либо необходимости пересмотра существующих нормативных правил или законодательства в случае, если наноразмерные и крупнозернистые материалы состоят из одного и того же химического вещества. Или же, некоторые товары широкого потребления не подпадают под требования безопасности и могут выводиться на рынок без проведения испытаний.

В Европейском союзе Регламент по регистрации, оценке, разрешению и ограничению химических веществ (РОРОХВ) используется для обеспечения того, чтобы здоровье человека и безопасность окружающей среды не ставились под угрозу в результате планируемого производства и сбыта какого-либо химического вещества в пределах ЕС. От компаний требуется регистрировать химические вещества, которые они намереваются производить и выставлять на продажу, и, на основании конкретных руководящих принципов РОРОХВ, продемонстрировать, каким образом риски, связанные с такими веществами, могут управляться в интересах охраны здоровья человека и безопасности окружающей среды.<sup>52, 53</sup>

На глобальном уровне, в рамках политического механизма осуществления Стратегического подхода к международному



Углеродно-графеновые нановолокна с иерархически упорядоченной оболочкой  
Фотография предоставлена: Ranjith Shanmugam / ZEISS Microscopy, на условиях лицензии CC BY-NC-ND 2.0

регулированию химических веществ (СПМРХВ) при административном руководстве Программы ООН по окружающей среде, наноматериалы являются одним из возникающих вопросов политики. В этом плане ведется работа с правительствами и международными заинтересованными сторонами по обмену информацией о нанотехнологиях и специально разработанных наноматериалах, а также по разработке международно применимых технических и правовых руководящих принципов рационального регулирования произведенных наноматериалов.<sup>54</sup>

В ходе работы по новым технологиям регулирующие органы сталкиваются с тем или иным сочетанием многообещающих перспектив, рисков и факторов неопределенности.<sup>55</sup> Расширение сферы научных исследований, производства и использования специально разработанных наноматериалов в мировом масштабе потребует принятия преобразующих политических курсов, направленных на стимулирование инноваций и промышленных применений экологически безопасных химических веществ, а также создание более требовательных, циклически повторяющихся и реагирующих на изменение обстановки нормативных механизмов, применяющих принцип предосторожности для гарантированного обеспечения безопасности и достижения конечных результатов без загрязнения окружающей среды. Мир не может позволить себе игнорировать извлеченные из прошлого уроки в отношении рисков и ущерба, причиненного здоровью человека и состоянию окружающей среды, принимая меры в связи с перспективными возможностями, которые создаются новыми материалами.



## Список использованной литературы

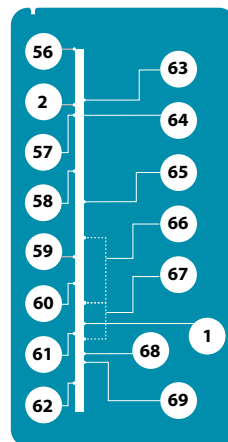
1. Nobel Media AB (2016). *The Nobel Prize in Chemistry 2016 - Popular Information*. Nobel Prize website. [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/2016/popular.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2016/popular.html)
2. ЮНЕП (2007). *Ежегодник ГЭП: Обзор изменений состояния окружающей среды*. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде, Найроби. [http://staging.unep.org/yearbook/2007/PDF/GYB2007\\_Russian\\_Full.pdf](http://staging.unep.org/yearbook/2007/PDF/GYB2007_Russian_Full.pdf)
3. ЮНЕП (2010). *Ежегодник ЮНЕП: Последние научные данные и разработки в области изменения окружающей среды*. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде, Найроби. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7822/-UNEP%20Year%20Book%202010-2010917-russian.pdf?sequence=12&isAllowed=y>
4. UNEP (2013). *UNEP Year Book: Emerging Issues in Our Global Environment*. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://staging.unep.org/yearbook/2013/>
5. Hochella Jr., M.F., Spencer, M.G. and Jones, K.L. (2015). Nanotechnology: nature's gift or scientists' brainchild? *Environmental Science: Nano*, 2, 114-119. <http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2015/EN/C4EN00145A>
6. Sharma, V.K., Filip, J., Zboril, R. and Varma, R.S. (2015). Natural inorganic nanoparticles – formation, fate and toxicity in the environment. *Chemical Society Reviews*, 44, 8410-8423. <http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2015/CS/C5CS00236B>
7. Pavani, T., Venkateswara Rao, K., Chakra, Ch. S. and Prabhu, Y.T. (2015). Ayurvedic synthesis of  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles and its Characterization. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(1), 321-324. <http://inpressco.com/wp-content/uploads/2015/02/Paper57321-324.pdf>
8. Sumithra, M., Raghavendra, Rao, P., Nagaratnam, A. and Aparna, Y. (2015). Characterization of  $\text{SnO}_2$  Nanoparticles in the Traditionally Prepared Ayurvedic Medicine. *Materials Today: Proceeding*, 2(9), Part A., 4636-4639. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785315009074>
9. Reibold, M., Paufler, P., Levin, A.A., Kochmann, W., Pätzke, N. and Meyer, D.C. (2006). Materials: Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre. *Nature*, 444(7117), 286. <https://www.nature.com/nature/journal/v444/n7117/pdf/444286a.pdf>
10. Sanderson, K. (2006). Sharpest cut from nanotube sword. *Nature News*, 15 November 2006. <http://www.nature.com/news/2006/061113/full/news061113-11.html>
11. JASRI (2012). Clarifying the hidden magnetism of gold (Au). Press Release, 23 January 2012. Japan Synchrotron Radiation Research Institute, Kouto. [http://www.spring8.or.jp/en/news\\_publications/press\\_release/2012/120123\\_2/](http://www.spring8.or.jp/en/news_publications/press_release/2012/120123_2/)
12. SCENIHR (2013). *Opinion on Nanosilver: safety, health and environmental effects and role in antimicrobial resistance*. The Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks of the European Union, Luxembourg. [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenihr\\_o\\_039.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_039.pdf)
13. Mochalin, V.N., Shenderova, O., Ho, D. and Gogotsi, Y. (2011). The properties and applications of nanodiamonds. *Nature Nanotechnology*, 7, 11-23. <https://www.nature.com/nnano/journal/v7/n1/pdf/nnano.2011.209.pdf>
14. Xi, G., Robinson, E., Mania-Farnell, B., Vanin, E.F., Shim, K.W., Takao, T., Allender, E.V., Mayanil, C.S., Soares, M.B., Ho, D. and Tomita, T. (2014). Convection-enhanced delivery of nanodiamond drug delivery platforms for intracranial tumor treatment. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 10(2), 381-391. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23916888>
15. Bačakova, L., Brož, A., Liškova, J., Staňkova, L., Potocký, S. and Kromka, A. (2016). The Application of Nanodiamond in Biotechnology and Tissue Engineering. In *Diamond and Carbon Composites and Nanocomposites*, M. Aliofkhazraei (ed.). InTech, Rijeka. <https://www.intechopen.com/download/pdf/51099>
16. Waddington, D.E.J., Sarraçanie, M., Zhang, H., Salameh, N., Glenn, D.R., Reij, E., Gaebel, T., Boele, T., Walsworth, R.L., Reilly, D.J. and Rosen, M.S. (2017). Nanodiamond-enhanced MRI via in situ hyperpolarization. *Nature Communications*, 15118. [http://walsworth.physics.harvard.edu/publications/2017\\_Waddington\\_NatureComm.pdf](http://walsworth.physics.harvard.edu/publications/2017_Waddington_NatureComm.pdf)
17. Gao, L., and Yan, X. (2016). Nanozymes: an emerging field bridging nanotechnology and biology. *Science China: Life Science*, 59, 400-402. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11427-016-5044-3.pdf>
18. Aqel, A., El-Nour, K.M.M.A., Ammar, R.A.A. and Al-Warthan, A. (2010). Carbon nanotubes, science and technology part (I) structure, synthesis and characterisation. *Arabian Journal of Chemistry*, 5, 1-23. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535210001747>
19. De Volder, M.F.L., Tawfik, S. H., Baughman, R. H. and Hart, A. J. (2013). Carbon nanotubes: Present and future commercial applications. *Science*, 339(6119), 535-539. <http://science.sciencemag.org/content/339/6119/535/tab-pdf>
20. EEA (2001). *Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000*. EEA Report No. 22. European Environment Agency, Copenhagen. [https://www.eea.europa.eu/publications/environmental\\_issue\\_report\\_2001\\_22/Issue\\_Report\\_No\\_22.pdf](https://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_22/Issue_Report_No_22.pdf)
21. De Jong, W.H., Van Der Ven, L.T.M., Sleijffers, A., Park, M.V.D.Z., Jansen, E.H.J.M., Van Loveren, H. and Vandebruel, R.J. (2013). Systemic and immunotoxicity of silver nanoparticles in an intravenous 28 days repeated dose toxicity study in rats. *Biomaterials*, 34, 8333-8343. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142961213007631>
22. Johnston, H.J., Hutchison, G., Christensen, F.M., Peters, S., Hankin, S. and Stone, V. (2010). A review of the in vivo and in vitro toxicity of silver and gold particulates: Particle attributes and biological mechanisms responsible for the observed toxicity. *Critical Reviews in Toxicology*, 40(4), 328-346. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/10408440903453074?journalCode=itxc20>
23. Graves Jr., J.L., Tajkariimi, M., Cunningham, Q., Campbell, A., Nonga, H., Harrison, S.H. and Barrick, J.E. (2015). Rapid evolution of silver nanoparticles resistance in *Escherichia coli*. *Frontiers in Genetics*, 6(42), 1-13. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4330922/pdf/gene-06-00042.pdf>
24. Weir, A., Westerhoff, P., Fabricius, L., Hristovski, K. and von Goetz, N. (2012). Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products. *Environmental Science and Technology*, 46(4):2242-2250. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es204168d>



25. Aschberger, K., Johnston, H.J., Stone, V., Aitken, R.J., Tran, C.L., Hankin, S.M., Peters, S.A. and Christensen, F.M. (2010). Review of fullerene toxicity and exposure—appraisal of a human health risk assessment, based on open literature. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 58, 455–473. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20800639>
26. NIOSH (2013). *Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers*. Current Intelligence Bulletin 65. The Centers for Disease Control/ The National Institute for Occupational Safety and Health, Atlanta. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/pdfs/2013-145.pdf>
27. Oberdörster, E. (2004). Manufactured Nanomaterials (Fullerenes, C<sub>60</sub>) Induce Oxidative Stress in the Brain of Juvenile Largemouth Bass. *Environmental Health Perspectives*, 112(10), 1058–1062. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1247377/pdf/ehp0112-001058.pdf>
28. Business Wire (2016). Global Nanotechnology Market Worth USD 173.95 Billion by 2025 - Analysis, Technologies & Forecasts Report 2016–2025 - Key Vendors: Acusphere, Glonatech, Isotron - Research and Markets. *Business Wire*, 28 September 2016. <http://www.businesswire.com/news/home/20160928005566/en/Global-Nanotechnology-Market-Worth-USD-173.95-Billion>
29. Lowry, G.V., Bernhardt, E.S., Dionysiou, D.D., Pedersen, J.A., Wiesner, M.R. and Xing, B. (2010). Environmental Occurrences, Behavior, Fate, and Ecological Effects of Nanomaterials: An Introduction to the Special Series. *Journal of Environmental Quality*, 39, 1867–1874. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21284284>
30. Geranio, L., Heuberger, M. and Nowack, B. (2009). The behavior of silver nanotextiles during washing. *Environmental Science and Technology*, 43(21), 8113–8118. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es9018332>
31. Shandilya, N., Le Bihan, O., Bressot, C. and Morgeneyer, M. (2015). Emission of Titanium Dioxide Nanoparticles from Building Materials to the Environment by Wear and Weather. *Environmental Science and Technology*, 49, 2163–2170. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es504710p>
32. Gottschalk, F. and Nowack, B. (2011). The release of engineered nanomaterials to the environment. *Journal of Environmental Monitoring*, 13, 1145–1155. [https://www.researchgate.net/profile/Bernd\\_Nowack/publication/50349175\\_The\\_release\\_of\\_engineered\\_nanomaterials\\_to\\_the\\_environment/links/54c75fc30cf238bb7d0a7d1a/The-release-of-engineered-nanomaterials-to-the-environment.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Bernd_Nowack/publication/50349175_The_release_of_engineered_nanomaterials_to_the_environment/links/54c75fc30cf238bb7d0a7d1a/The-release-of-engineered-nanomaterials-to-the-environment.pdf)
33. Batley, G.E., Kirby, J.K. and McLaughlin, M.J. (2012). Fate and risks of nanomaterials in aquatic and terrestrial environments. *Accounts of Chemical Research*, 46(3), 854–862. [https://www.researchgate.net/publication/228113803\\_Fate\\_and\\_Risks\\_of\\_Nanomaterials\\_in\\_Aquatic\\_and\\_Terrestrial\\_Environments](https://www.researchgate.net/publication/228113803_Fate_and_Risks_of_Nanomaterials_in_Aquatic_and_Terrestrial_Environments)
34. Gardea-Torresdey, J.L., Rico, C.M. and White, J.C. (2014). Trophic Transfer, Transformation, and Impact of Engineered Nanomaterials in Terrestrial Environments. *Environmental Science & Technology*, 48(5), 2526–2540. <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es4050665>
35. Garner, K.L. and Keller, A.A. (2014). Emerging patterns for engineered nanomaterials in the environment: a review of fate and toxicity studies. *Journal of Nanoparticle Research*, 16, 2503. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F11051-014-2503-2.pdf>
36. Peijnenburg, W. J. G. M.; Baalousha, M.; Chen, J.; Chaudry, Q.; Von der kammer, F.; Kuhlbusch, T. A. J.; Lead, J.; Nickel, C.; Quik, J. T. K.; Renker, M.; Wang, Z.; Koelmans, A. A. A Review of the Properties and Processes Determining the Fate of Engineered Nanomaterials in the Aquatic Environment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45, 2084–2134. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643389.2015.1010430>
37. Xia, T., Li, N. and Nel, A.E. (2009). Potential Health Impact of Nanoparticles. *The Annual Review of Public Health*, 30, 137–50. <http://annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.publhealth.031308.100155>
38. Poland, C.A., Duffin, R., Kinloch, I., Maynard, A., Wallace, W.A., Seaton, A., Stone, V., Brown, S., Macnee, W. and Donaldson K. (2008). Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nature Nanotechnology*, 3, 423–428. <http://www.nature.com/nnano/journal/v3/n7/pdf/nnano.2008.111.pdf>
39. Nagai, H. and Toyokuni, S. (2012). Differences and similarities between carbon nanotubes and asbestos fibers during mesothelial carcinogenesis: Shedding light on fiber entry mechanism. *Cancer Science*, 103(8), 1378–1390. [https://www.researchgate.net/publication/224924547\\_Differences\\_and\\_similarities\\_between\\_carbon\\_nanotubes\\_and\\_asbestos\\_fibers\\_during\\_mesothelial\\_carcinogenesis\\_Shedding\\_light\\_on\\_fiber\\_entry\\_mechanism](https://www.researchgate.net/publication/224924547_Differences_and_similarities_between_carbon_nanotubes_and_asbestos_fibers_during_mesothelial_carcinogenesis_Shedding_light_on_fiber_entry_mechanism)
40. Deane, L. (1898). *Report on the health of workers in asbestos and other dusty trades*. In HM Chief Inspector of Factories and Workshops, 1899, Annual Report for 1898, 171–172.
41. Peto, J., Hodgson, J.T., Matthews, F.E. and Jones, J.R. (1995). Continuing increase in mesothelioma mortality in Britain. *The Lancet*, 345(8949), 535–539. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7776771>
42. HSE (2017). Asbestos health and safety. The Health and Safety Executive website. <http://www.hse.gov.uk/asbestos/index.htm>
43. Delay, M. and Frimmel, F.H. (2012). Nanoparticles in aquatic systems. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 402(2), 583–592. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F9500216-011-5443-z.pdf>
44. Du, J., Wang, S., You, H. and Zhao, X. (2013). Understanding the toxicity of carbon nanotubes in the environment is crucial to the control of nanomaterials in producing and processing and the assessment of health risk for human: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 36, 451–462. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/labs/articles/23770455/>
45. Schulte, P.A., Roth, G., Hodson, L.L., Murashov, V., Hoover, M.D., Zumwalde, R., Kuempel, E.D., Geraci, C.L., Stefaniak, A.B., Castranova, V. and Howard, J. (2016). Taking stock of the occupational safety and health challenges of nanotechnology: 2000–2015. *Journal of Nanoparticle Research*, 18, 1–21. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5007006/pdf/nihms812231.pdf>
46. Trouiller, B., Reliene, R., Westbrook, A., Solaimani, P. and Schiestl, R.H. (2009). Titanium dioxide nanoparticles induce DNA damage and genetic instability in vivo in mice. *Cancer Research*, 69(22), 8784–8789. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19887611>
47. Seaton, A., Tran, L., Aitken, R. and Donaldson, K. (2010). Nanoparticles, human health hazard and regulation. *Journal of The Royal Society Interface*, 7, S119–S129. [http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/7/Suppl\\_1/S119.long](http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/7/Suppl_1/S119.long)

48. Kuhlbusch, T.A.J., Asbach, C., Fissan, H., Göhler, D. and Stintz, M. (2011). Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: A review. *Particle and Fibre Toxicology*, 8(22), 1-18. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3162892/pdf/1743-8977-8-22.pdf>
49. ISO (2007). ISO/TR 27628:2007 Workplace atmospheres - Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols - Inhalation exposure characterization and assessment. International Organization for Standardization, Geneva. <https://www.iso.org/standard/44243.html>
50. OECD (2016). *Single walled carbon nanotubes (SWCNTs): Summary of the dossier*. OECD Environment, Health and Safety Publications – Series on the safety of manufactured nanomaterials No.70. The Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2016\)22&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2016)22&doclanguage=en)
51. Charitidis, C.A., Trompeta, A.F., Vlachou, N. and Markakis, V. (2016). Risk management of engineered nanomaterials in EU-The case of carbon nanotubes and carbon nanofibers: A review. *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 41(1), 1-11. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/tmrj/41/1/41\\_1/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/tmrj/41/1/41_1/_pdf)
52. OECD (2016). *Single walled carbon nanotubes (SWCNTs): Summary of the dossier*. OECD Environment, Health and Safety Publications – Series on the safety of manufactured nanomaterials No.70. The Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2016\)22&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2016)22&doclanguage=en)
53. OECD (2017). Alternative testing strategies in risk assessment of manufactured nanomaterials: current state of knowledge and research needs to advance their use. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials No. 80. The Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/JM/MONO\(2016\)63&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/JM/MONO(2016)63&doclanguage=en)
54. UN Environment (2017). Strategic Approach to International Chemicals Management website. UN Environment, Geneva. <http://www.saicm.org/>
55. ACS-GCI (2014). *Green Chemistry Pocket Guide*. American Chemistry Society – Green Chemistry Institute, Washington DC. <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/greenchemistry/resources/the-12-principles-of-green-chemistry-pocket-guide.pdf>

## Список использованных графических материалов



56. Alden, A. (2017). All About Sediment Grain Size. *ThoughtCo*, 5 June 2017. <https://www.thoughtco.com/all-about-sediment-grain-size-1441194>
57. Walker, W.F., Yatskievych, G., Mickel, J.T., and Wagner, W. (2016). Fern. *Encyclopædia Britannica*, 18 October 2016. <https://www.britannica.com/plant/fern/Shape>
58. Du, N., Liu, X.Y., Narayanan, J., Li, L., Lek, M., Lim, M. and Li, Q. (2006). Design of Superior Spider Silk: From Nanostructure to Mechanical Properties. *Biophysical Journal*, 91(12), 4528-4535. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000634950672164658>
59. Aleksandrowicz, P., Marzi, A., Biedenkopf, N., Beimforde, N., Becker, S., Hoenen, T., Feldmann, H. and Schnittler, H.J. (2011). Ebola virus enters host cells by macropinocytosis and clathrin-mediated endocytosis. *Journal of Infectious Diseases*, Supplement 3, S957-S967. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21987776>
60. WHO (2000). *Air quality guidelines for Europe—Second edition*. WHO Regional Publication, European Series No. 91. World Health Organization, Copenhagen. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/74732/E71922.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf)
61. Nano.gov (2017). Size of the nanoscale. United States National Nanotechnology Initiative. <https://www.nano.gov/nanotech-101/what/nano-size>
62. D'Arrigo, J.S. (1978). Screening of membrane surface charges by divalent cations: an atomic representation. *American Journal of Physiology*, 235(3), C109-117. <http://bionumbers.hms.harvard.edu/bionumber.aspx?id=103723&ver=0>
63. Yes Paper (2017). Paper glossary. Yes Paper. <http://www.yes-paper.com/index.php?yespaper=yespaper-paper-glossary>
64. FOA (2015). Guide to fiber optics and premises cabling. The Fiber Optic Association. <http://www.thefoa.org/tech/ref/basic/fiber.html>





65. UNEP (2015). Plastic in cosmetics: Are we polluting the environment through our personal care? United Nations Environment Programme, Nairobi. [http://apps.unep.org/redirect.php?file=/publications/pmtdocuments/-Plastic\\_in\\_cosmetics\\_Are\\_we\\_polluting\\_the\\_environment\\_through\\_our\\_personal\\_care\\_-2015Plas.pdf](http://apps.unep.org/redirect.php?file=/publications/pmtdocuments/-Plastic_in_cosmetics_Are_we_polluting_the_environment_through_our_personal_care_-2015Plas.pdf)
66. Athinarayanan, J., Periasamy, V.S., Alsaif, M.A., Al-Warthan, A.A. and Alshatwi, A.A. (2014). Presence of nanosilica (E551) in commercial food products: TNF-mediated oxidative stress and altered cell cycle progression in human lung fibroblast cells. *Cell Biology and Toxicology*, 30, 89-100. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10565-014-9271-8.pdf>
67. Webb, B. (2006). Quantum dots. <http://ion.chem.usu.edu/~tapaskar/Britt-Quantum%20Dots.pdf>
68. Khan, I., Saeed, K. and Khan, I. (2017). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry* (in press). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535217300990>
69. Locke, W. (1996). Buckminsterfullerene,  $C_{60}$ . <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/buckyball/c60a.htm>
70. Allied Market Research (2016). Nanomaterials Market by Type (Carbon Nanotubes, Fullerenes, Graphene, Nano Titanium Dioxide, Nano Zinc Oxide, Nano Silicon Dioxide, Nano Copper Oxide, Nano Cobalt Oxide, Nano Iron Oxide, Nano Manganese Oxide, Nano Zirconium Oxide, Nano Silver, Nano Gold, Nano Nickel, Quantum Dots, Dendrimers, Nanoclay, Nanocellulose) and End-user - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2014-2022. Allied Market Research website. <https://www.alliedmarketresearch.com/nano-materials-market>
71. Nicomel, N.R., Leus, K., Folens, K., Van Der Voort, P. and Laing, G.D. (2016). Technologies for Arsenic Removal from Water: Current Status and Future Perspectives. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(62), 1-24. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4730453/pdf/ijerph-13-00062.pdf>
72. Wu, W., Wu, Z., Yu, T., Jiang, C. and Kim, W.S. (2015). Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications. *Science and Technology of Advanced Materials*, 16, 023501. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1468-6996/16/2/023501/pdf>
73. Kostarelos, K. and Novoselov, K.S. (2014). Graphene devices for life. *Nature Nanotechnology*, 9, 744-745. <http://www.nature.com/nnano/journal/v9/n10/full/nnano.2014.224.html>



74. Liu, Q., Cui, Q., Li, X.J. and Jin, L. (2014). The applications of buckminsterfullerene  $C_{60}$  and derivatives in orthopaedic research. *Connective Tissue Research*, 55(2), 71-79. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4124742/pdf/nihms608096.pdf>
75. Chang, C.C., Hsu, I.K., Aykol, M., Hung, W.H., Chen, C.C. and Cronin, S.B. (2010). A new lower limit for the ultimate breaking strain of carbon nanotubes. *ACS Nano*, 4(9), 5095-5100. <https://pdfs.semanticscholar.org/d072/eaf8c9c9c1730bb211346ac2d1902da369fe.pdf>
76. Eatemadi, A., Daraee, H., Karimkhanloo, H., Kouhi, M., Zarghami, N., Akbarzadeh, A., Abasi, M., Hanifehpour, Y. and Joo, S.W. (2014). Carbon nanotubes: properties, synthesis, purification, and medical applications. *Nanoscale Research Letters*, 9(393), 1-13. <https://neuraldevelopment.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1556-276X-9-393?site=neuraldevelopment.biomedcentral.com>