

УДК 615.099

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК: ОБЗОР РОССИЙСКИХ ПУБЛИКАЦИЙ

© 2014 Н.В. Саяпина¹, А.А. Сергиевич¹, Т.А. Баталова¹, М.А. Новиков²,
А.Н. Асадчева³, В.В. Чайка³, К.С. Голохваст⁴

¹ Амурская государственная медицинская академия, г. Благовещенск

² Ангарский филиал ВСНЦ экологии человека СО РАМН – НИИ медицины труда,
г. Ангарск

³ Морской государственный университет им. Г.И. Невельского, г. Владивосток

⁴ Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Поступила в редакцию 26.09.2014

В статье представлен обзор исследований, проведенных в России в период с 2008-2014 гг., объектом которых являются углеродные нанотрубки. Нанотоксикология для нашей страны новая наука, но уже сделан серьезный задел. Так, отечественными учеными изучено влияние углеродных нанотрубок на целый спектр организмов: от бактерий и растений до млекопитающих. Показаны различные мутагенные и токсические эффекты.

Ключевые слова: *углеродные нанотрубки, нанотоксикология*

В мире современных технологий появляется много новых материалов, но наибольший рост наблюдается среди наноматериалов: нановолокна, нанотрубки, нанополлимеры, наностержни, квантовые точки, иммобилизованные наночастицы и еще ряд экзотических структур. Большинство наноматериалов имеют углеродную природу, но есть металлические, силикатные, целлюлозные и иные структуры. Растет объем их присутствия в жизни человека и окружающей среде, так как из лабораторных образцов, получаемых в микрограммовых количествах, они вырастают в многотонные производства. Наиболее изучены токсические свойства углеродных наноматериалов, и, в частности, нанотрубок – одно- или многослойных цилиндрических структур, состоящих из углерода диаметром до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров. Сообщения о токсичности нанотрубок в мировой литературе начали появляться сравнительно недавно (с начала 2000-х гг.), но поиск в данном направлении продолжается

до сих пор [33]. Большинство исследователей сходятся во мнении, что углеродные нанотрубки достаточно токсичны, вызывают апоптоз клеток и проявляют мутагенные свойства вследствие усиления образования активных форм кислорода. В ряде публикаций показана биodeградация нанотрубок, что внушает определенную уверенность в завтрашнем дне [30-32]. Данная статья посвящена обзору публикаций, посвященных токсичности углеродных нанотрубок, проводимых в России.

Сегодня на наноразмерные частицы возлагаются большие надежды ученых не только технических наук, но и медико-биологических направлений. Число публикаций, посвященных нанотехнологиям, неуклонно увеличивается, превысив уже 50 тысяч [3], при этом все чаще встречаются статьи, освещающие способы применения наноматериалов в медицинской практике [1, 2, 11, 12, 14, 15, 18, 19]. Чем вызван такой интерес? Несомненно, причиной повышенного внимания являются уникальные свойства наночастиц [1, 2, 14, 15, 18, 19, 28]. Бесспорно, одними из важнейших свойств для медицины и фармакологии является уникальная способность наночастиц проникать через клеточную мембрану [10] и преодолевать гематоэнцефалический барьер [1, 5, 15, 16]. Хотя Фатхутдинова с соавторами [28] отмечают, что при инъекционном введении гидроксидированных одностенных углеродных нанотрубок мышам, они распределялись по всем органам, кроме головного мозга. Все чаще авторы указывают, что углеродные наночастицы являются одними из самых известных и распространенных наноструктур [1, 7, 14, 19]. Но недостаток знаний о биосовместимости и цитотоксичности углеродных нанотрубок еще ощутим, и это не может не тормозить возможность их применения в

Саяпина Нина Витальевна, аспирантка

Сергиевич Александр Александрович, кандидат биологических наук, докторант кафедры физиологии и патофизиологии

Баталова Татьяна Анатольевна, доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой физиологии и патофизиологии

Новиков Михаил Александрович, младший научный сотрудник лаборатории токсикологии

Асадчева Анна, аспирантка

Чайка Владимир Викторович, кандидат биологических наук, доцент кафедры защиты окружающей среды

Голохваст Кирилл Сергеевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере. E-mail: droopy@mail.ru

медицинской практике [19]. Поэтому вопрос токсичности углеродных нанотрубок является одним из ведущих на сегодняшний день.

Немаловажным вопросом и до сих пор открытым, является вопрос о степени мутагенности нанотрубок, что отражается в целом ряде публикаций. Так отмечается, что «... без сомнений, наночастицы взаимодействуют с ДНК и таким образом, вмешиваются в генетические процессы организма» [16]. При биотестировании углеродного наноматериала (УНМ) «Таунит» с использованием бактерий и гидробионтов выяснилось, что по принятой шкале в экотоксикологии материал может быть отнесен 3-4 классу опасности [11, 23]. Но в другом источнике утверждают, что материал может быть отнесен к умеренно-опасным веществам [13]. Здесь же автор пишет, что прямой контакт с нанотрубками может привести к повреждению клеточных мембран и вызывать гибель бактерий *E. coli* [13].

При исследованиях на сельскохозяйственных растениях для оценки фитотоксичности описываются следующие результаты. Так, на культурах яровой пшеницы, гороха и подсолнечника показано двойное влияние углеродных наноматериалов. С одной стороны УНМ «Таунит» оказывает негативное влияние на процессы раннего вегетативного онтогенеза, но с другой стороны, позитивное влияние на развитие корневой системы, всхожесть семян и на их защищенность от гниения [11]. В исследовании на растениях рапса [10] показано, что нанотрубки стимулируют нарастание стеблей и корней, но при этом автор отмечает, что наноматериалы подавляют энергию прорастания и всхожесть семян [10]. В статье «Токсичность различных наноматериалов при обработке семян яровой пшеницы» продемонстрировано, что препараты нанотрубок оказывают стимулирующее действие на посевные и морфологические показатели проростков, а вот токсического действия на проростки пшеницы не зафиксировано [8]. Как мы видим, данный вопрос также остается открытым.

В экспериментах на личинках морских ежей показано, что углеродные нанотрубки разного диаметра проявляли токсическое действие. Вызывали аномалии в развитии зародышей уже через 2 часа инкубации в концентрации 5 мг/мл, а через 24 часа наблюдалась их гибель [6].

В XXI веке контакт человека с наночастицами становится все заметнее [1, 7], но недостаток знаний в области безопасности применения и токсичности наноматериалов может стоить человечеству дорого. Показано, что наночастицы не распознаются защитными системами организма, что приводит к их накоплению в растениях и животных организмах, а значит, потенциальная возможность поступления наночастиц в организм человека увеличивается, при этом негативное влияние может иметь и отсроченный характер [18]. Прежде чем прибегать к помощи наночастиц в медико-биологической практике, да и не только, необходимо просчитывать все возможные риски. Для этого в токсикологии появляется новое направление – нанотоксикология, признанная изучать

токсичность наноматериалов при взаимодействии с живыми организмами. В токсикологическом плане самыми вероятными и более частыми путями попадания наночастиц в организм являются ингаляционный и через желудочно-кишечный тракт [14, 28]. Проведем обзор исследований о последствиях влияния углеродных нанотрубок на организм в зависимости от их пути попадания.

Авторы приводят интересные выводы исследований влияния наночастиц на организм при ингаляционном способе поступления в организм. Так, после ингаляции у подопытных животных углеродные наночастицы в крови определялись уже через 1 минуту, вызывая агрегацию тромбоцитов, стимулируя сосудистый тромбоз в каротидных артериях крыс [14, 28]. Помимо этого упоминается, что воздействие одностенных углеродных нанотрубок способно вызывать увеличение атеросклеротических бляшек в крупных сосудах [28]. На высокий уровень задержки наночастиц в легких и способность проникать через аэрогематический барьер указывают некоторые работы [5], хотя другие авторы описывают, что в крови добровольцев, вдыхавших наноаэрозоль в течение 6 часов, углеродные нанотрубки не обнаруживались [28]. У грызунов, подвергшимся кратковременным экспозициям, углеродные нанотрубки способствуют развитию в легочной ткани воспаления [14, 28, 23] фиброза и гранулем [28, 29].

Что касается влияние углеродных наночастиц при попадании через желудочно-кишечный тракт, то некоторые авторы высказывают гипотезу об этиологии болезни Крона и неспецифического язвенного колита, что может быть связано, и, в частности, с попаданием наночастиц в кишечник человека [14]. Установлено и токсическое дозозависимое влияние УНМ «Таунит» на состояние внутренних органов самок лабораторных мышей. Это влияние проявлялось в увеличении массы желудочно-кишечного тракта, матки, яичников, легких, печени, сердца по мере возрастания дозы [9], а при исследовании токсичности многослойных углеродных нанотрубок при интраперитонеальном введении мышам обнаруживалось фиброзное утолщение брюшины и опухоли. Основная причина смерти животных называлась как мезотелиомы и непроходимость кишечника из-за фиброзных изменений в брюшине [28].

Нами исследовано влияние многослойных углеродных нанотрубок на эпителиоциты разных отделов желудочно-кишечного тракта и уротелий разных отделов нефрона почки мышей линии СВА. Отмечена генерализованная реакция иммунной системы организма мыши на пероральное введение нанотрубок, реализующаяся за счёт гипертрофии лимфоидных структур в собственной пластинке слизистой оболочки ЖКТ, фолликулов в капсуле и паренхиме почки, а также гипертрофией Мальпигиевых телец белой пульпы селезенки. Гипертрофия лимфоидной ткани в стенке желудочно-кишечного тракта и в селезенке, по нашему мнению, является реализацией индукции иммунного ответа эпителиоцитами, не только как неспецифическая

реакция на повышение секреторной активности железистого эпителия, но и развитие индуцированной миграции лимфоцитов на антиген-представляющие взаимодействия эпителиоцитов с эффекторными иммунными клетками. В целом можно отметить, что многослойные углеродные нанотрубки не оказывают выраженного токсического действия на организм мышей линии СВА при кратковременном эксперименте. Несмотря на это, стоит отметить некоторую иммуногенность наноматериала и увеличение миграционной активности клеток, проявляющейся в лимфоидной инфильтрации [7].

Есть работа, в которой говорится, что при применении имплантантов из УНМ «Таунит» в тканях животных отсутствовали выраженные воспалительные реакции, а скорость регенерации костной ткани была выше обычной [24]. Каркищенко (2009) ссылается, что больше всего от последствий токсического действия наноматериалов страдают головной мозг, костный мозг, репродуктивные и выделительные органы [16].

Есть интересные исследования влияния многослойных нанотрубок на репродуктивную систему нелинейных лабораторных мышей. Так, Гусев с соавторами описывают, что прием мышами коллоидного водного раствора наноматериала в дозировке 30 мг/кг привел к бесплодию у самцов, а вот у самок негативного влияния на репродуктивную систему не зафиксировано, наоборот, стимулирует повышение плодовитости самок [11, 12]. В другом источнике говорится, что нанотрубки способны изменять гормональный фон, увеличивать количество потомства, при этом отмечается эмбриональная гибель, но не влияя на общую летальность животных [4].

На сегодня авторы [1] указывают перспективные направления применения нанотехнологий в медицине, к ним относятся: диагностика заболеваний на ранних стадиях и методы адресной доставки лекарственных препаратов к пораженным клеткам. По эффективности и минимальной токсичности такой метод сравнивается с «точечным бомбовым ударом» [15]. Арчаков (2010) видит преимущества лекарственных препаратов в виде наночастиц в их высокой скорости растворения, повышенной биодоступности, быстром эффекте и снижении рисков побочных эффектов [2]. Многие авторы согласны, что такой метод доставки лекарственных препаратов является перспективным направлением в фармакологии [3, 12, 14, 18, 19, 22, 25].

В будущем такой метод может стать и перспективным в лечении нейродегенеративных заболеваний. Бородкин (2011) сообщает об исследовании по введению углеродных нанотрубок с пиридиновыми остатками в культуру нервных клеток человека. Оказалось, что эффективность передачи нервного импульса в модифицированной культуре значительно увеличивается [3]. Адресная доставка лекарственных препаратов призвана стать альтернативным методом в лечении также нейроинфекций и онкозаболеваний, когда необходимо

применять достаточно токсичные препараты для здоровых тканей [14, 15]. Появляются исследования применения нанотрубок в онкологии, в частности, влияния углеродных нанотрубок на опухолевые структуры. Так, интрамуральное введение в лимфосаркому Плисса одностенных углеродных нанотрубок с NH_2 -группами (HT-NH_2) приводило к торможению опухолевого роста в течение 3 недель и увеличивало продолжительность жизни животных [17], а в опытах на клеточных культурах нормальной микроглии и глиомы с добавленными в среду инкубации нанотрубками показано, что углеродные нанотрубки не оказывают токсического эффекта и успешно поглощаются опухолевыми клетками [25].

Гусев с соавторами (2013) в своей работе указывают на то, что углеродные нанотрубки способны проявлять сильную антимикробную активность [13]. Были получены комплексы на основе материала многослойных углеродных нанотрубок типа «Таунит» с антибиотиками этамицином А, гризеовиридином, полимиксином В и тобрамицином. Установлено, что полученные комплексы обладают антимикробной активностью в отношении *Staphylococcus aureus* (MRSA) и *Escherichia coli* [26]. Также показано, что полученные наноконструкции «Таунит»-нистатин А1 активен в отношении *Aspergillus niger*, а «Таунит»-натамицин активен в отношении *Aspergillus niger* и *Candida albicans* [27]. Другие авторы еще выделяют как перспективное направление применения нанотехнологий в медицине создание методов борьбы со старостью [3, 20], решение проблемы бессмертия человека [3], наноразмерная генетическая терапия и наноразмерная контролируемая терапия стволовыми клетками [20].

Становится очевидным, что информации по влиянию углеродных наноматериалов, в частности, нанотрубок на морфологические, физиологические характеристики в живом организме не достаточно, а иногда такая информация является противоречивой. Но, как известно, живые организмы адаптируются к изменчивым факторам среды не только за счет корректировки биохимических, морфологических показателей, но и посредством адаптивных поведенческих механизмов [7].

Если говорить о влиянии углеродных нанотрубок на высшую нервную деятельность и поведение, в частности, то информации практически нет. Так, Гусев с соавторами немного затрагивают данную проблему, описывая, что при изучении влияния данного углеродного материала на репродуктивную систему мышей самцы контрольной и экспериментальных групп проявляли адекватное половое поведение [11]. Поляков с соавторами (2008) считают, что нанотехнологии могут влиять на умственные возможности, а другая форма углеродного наноматериала – фуллеренол нормализует поведенческие реакции и устраняет явления энцефалопатии [16]. Но каким образом углеродные нанотрубки влияют на высшую нервную деятельность, когнитивные способности и поведение в целом?

Пока этот вопрос, как и многие другие, остается открытым для физиологии и психофизиологии...

Работа выполнена при поддержке Научного Фонда ДВФУ, Гранта Президента для молодых ученых МК-1547.2013.5 и Министерства образования и науки Российской Федерации (№14.594.21.0006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Абаева, Л.Ф.* Наночастицы и нанотехнологии в медицине сегодня и завтра / *Л.Ф. Абаева, В.И. Шумский, Е.Н. Петрицкая* и др. // Альманах клинической медицины. 2010. №22. С. 10-16.
2. *Арчаков, А.И.* Нанобиотехнологии в медицине: нанодиагностика и нанолечения // Биомедицинская химия. 2010. Т. 56, №1. С. 7-25.
3. *Бородкин, Г.И.* Нанотехнологии и экологическая безопасность // Сиббезопасность – Спассиб. 2011. №1. С. 16-21.
4. *Васюкова, И.А.* Многостенные углеродные нанотрубки и их влияние на показатели мужской репродуктивной системы / *И.А. Васюкова, А.А. Гусев, Т.О. Хашуллин* и др. // Нанотехнологии и охрана здоровья. 2014. Т. 6, №1(18). С. 10-15.
5. *Величковский, Б.Т.* Об экспресс-методе прогнозирования возможного патологического влияния наночастиц на организм // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра СО РАМН. 2009. № 4. С. 72-76.
6. *Голохваст, К.С.* Влияние некоторых синтетических и природных наночастиц на развитие личинок морского ежа / *К.С. Голохваст, В.Л. Кузнецов, М.И. Кусайкин* и др. // Нанотехнологии и охрана здоровья. 2013. Т. 5, №2(15). С. 36-40.
7. *Голохваст, К.С.* К вопросу о токсичности техногенных наночастиц, как возможного нового абиотического фактора среды / *К.С. Голохваст, Е.М. Черепанова, М.П. Андрейко* и др. // Вологдинские чтения. 2010. №78. С. 218-220.
8. *Голубева, Н.И.* Токсичность различных наноматериалов при обработке семян яровой пшеницы / *Н.И. Голубева, С.Д. Полищук* // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2012. №4(16). С. 21-24.
9. *Горшенёва, Е.Б.* Дозозависимый эффект многостенных углеродных нанотрубок и частиц сажи при пероральном введении лабораторным мышам // Нанотехнологии и охрана здоровья. 2014. Т. 6, №1(18). С. 48-55.
10. *Гусев, А.А.* Влияние высокодисперсных частиц различной природы на ранние стадии онтогенеза растений рапса (*Brassica napus*) / *А.А. Гусев, О.А. Акимова, Ю.А. Крутяков* и др. // Наукосведение. 2013. №5 (18). С. 11.
11. *Гусев, А.А.* Предварительные результаты комплексного биотестирования углеродного наноматериала – перспективного носителя лекарственных препаратов / *А.А. Гусев, О.Н. Зайцева, И.А. Полякова* и др. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2010. Т. 15, №5. С. 1538-1540.
12. *Гусев, А.А.* Половые различия физиологического эффекта углеродного наноструктурного материала – перспективного носителя лекарственных препаратов в эксперименте на лабораторных мышках / *А.А. Гусев, И.А. Полякова, Е.Б. Горшенева* и др. // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2010. Т. 21, №13. С. 107-112.
13. *Гусев, А.А.* Исследование содержания аэрозольных наночастиц в воздухе рабочей зоны нанотехнологического производства и оценка воздействия наноматериала на бактерии на примере углеродного наноматериала «ТАУНИТ» / *А.А. Гусев, В.В. Родаев, И.А. Васюкова* и др. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. Т.18, №1. С. 299-303.
14. *Зиганшин, А.У.* Наночастицы: фармакологические надежды и токсикологические проблемы / *А.У. Зиганшин, Л.Е. Зиганшина* // Казанский медицинский журнал. 2008. Т. 89, № 1. С. 1-7.
15. *Ивонин, А.Г.* Направленный транспорт лекарственных препаратов: современное состояние вопроса и перспективы / *А.Г. Ивонин, Е.В. Пименов, В.А. Оборин* и др. // Известия Коми научного центра УРО РАН. 2012. №9. С. 46-55.
16. *Каркищенко, Н.Н.* Нанобезопасность: новые подходы к оценке рисков и токсичности наноматериалов // Биомедицина. 2009. Т.1, № 1. С. 5-27.
17. *Кит, О.И.* Торможение роста перевариваемой опухоли с помощью функционализированных коротких одностенных углеродных нанотрубок / *О.И. Кит, Е.Ю. Златник, Л.В. Передереева, С.П. Червонобродов* // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2013. Т. 156, №9. С. 348-351.
18. *Латышевская, Н.И.* Экологические проблемы развития нанотехнологий / *Н.И. Латышевская, А.С. Стрекалова* // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: экономика, экология. 2011. Т.3, №1. С.224-230.
19. *Митрофанова, И.В.* Возможности биомедицинского применения углеродных нанотрубок / *И.В. Митрофанова, И.В. Мильто, И.В. Суходоло, Г.Ю. Васюков* // Бюллетень Сибирской медицины. 2014. Т.13, №1. С.135-144.
20. *Муртазина, Э.М.* Основные вехи в развитии нанотехнологии (обзор зарубежных публикаций) / *Э.М. Муртазина, О.И. Лефтерова* // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, №10. С. 45-49.
21. *Поляков, В.В.* Перспективы применения нанотехнологий в биомедицинской инженерии / *В.В. Поляков, И.Б. Старченко, Г.Ю. Джуплина* // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2008. Т. 82, №5. С. 216-220.
22. *Постнов, В.Н.* Наноразмерные носители для доставки лекарственных препаратов / *В.Н. Постнов, Е.Б. Наумьева, Д.В. Королёв, М.М. Галагудза* // Биотехносфера. 2013. №6(30). С. 16-27.
23. *Рыбалкин, С.П.* Изучение токсичности наноструктурированного углерода в форме одностенных углеродных нанотрубок и укороченных одностенных углеродных нанотрубок при ингаляционном пути поступления крысам / *С.П. Рыбалкин, Л.В. Михина, Н.М. Онацкий* и др. // Прикладная токсикология. 2013. Т.4, №1(9). С. 32-39.
24. *Саркисян, М.А.* Проблемы применения углеродных наноструктур в имплантологии / *М.А. Саркисян, С.А. Воронаев, А.С. Аронин* и др. // Dental Forum. 2014. №3. С. 17-20.
25. *Сейфулла, Р.Д.* Перспективы применения нанотехнологий в клинической неврологии / *Р.Д. Сейфулла, З.А. Суслина, Е.В. Куликова* и др. // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2008. Т. 2, №2. С. 35-44.
26. *Тимофеева, А.В.* Получение и исследование антибактериальной активности комплексов типа «Таунит»-антибиотик в отношении *Staphylococcus aureus* (MRSA) и *Escherichia coli* / *А.В. Тимофеева, М.В.*

- Ильина, Л.П. Терехова и др. // Биотехнология. 2014. №2. С. 51-56.
27. Тимофеева, А.В. Получение наноконструкций типа «Гаунит»-антибиотик и исследование их антифунгальной активности в отношении *Aspergillus niger* и *Candida albicans* / А.В. Тимофеева, М.В. Ильина, Л.П. Терехова и др. // Биотехнология. 2014. №3. С.18-23.
28. Фатхутдинова, Л.М. Токсичность искусственных наночастиц / Л.М. Фатхутдинова, Т.О. Халиуллин, Р.Р. Залялов // Казанский медицинский журнал. 2009. Т. 90, № 4. С. 578-584.
29. Халиуллин, Т.О. Биологические эффекты многослойных углеродных нанотрубок при легочной экспозиции *in vivo* / Т.О. Халиуллин, Е.Р. Кусин, Р.Р. Залялов и др. / Токсикологический вестник. 2013. №4. С. 17-21
30. Andōn, F.T. Biodegradation of single-walled carbon nanotubes by eosinophil peroxidase / F.T. Andōn, A.A. Kapralov, N. Yanamala et al. // Small. 2013. Vol. 9, Issue 16. P. 2721-2729.
31. Kagan, V.E. Lung macrophages Digest carbon nanotubes using a superoxide/peroxynitrite oxidative pathway / V.E. Kagan, A.A. Kapralov, St. Croix et al. // ACS Nano. 2014. V. 8, Issue 6. P. 5610-5621.
32. Kotchey, G.P. A natural vanishing act: The enzyme-catalyzed degradation of carbon nanomaterials / G.P. Kotchey, S.A. Hasan, A.A. Kapralov et al. // Accounts of Chemical Research, 2012. V. 45, Issue 10. P. 1770-1781.
33. Shvedova, A.A. Mechanisms of carbon nanotube-induced toxicity: Focus on oxidative stress / A.A. Shvedova, A. Pietroiusti, B. Fadeel, V.E. Kagan // Toxicology and Applied Pharmacology. 2012. V. 261, Issue 2. P. 121-133.

ECOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL DANGER OF CARBON NANOTUBES: REVIEW OF RUSSIAN PUBLICATIONS

© 2014 N.V. Sayapina¹, A.A. Sergiyevich¹, T.A. Batalova¹, M.A. Novikov², A.N. Asadcheva³, V.V. Chayka³, K.S. Golokhvast⁴

¹ Amur State Medical Academy, Blagoveshchensk

² Angarsk Branch ESSC of Human Ecology SV RAMS –

Scientific Research Institute of Occupational Medicine, Angarsk

³ Marine State University named after G.I. Nevelskiy, Vladivostok

⁴ Far Eastern Federal University, Vladivostok

The review of the researches conducted in Russia during the period since 2008-2014 which object are carbon nanotubes is presented in article. Nanotoxicology for our country is a new science, but the serious reserve is already made. So, domestic scientists studied influence of carbon nanotubes on the whole range of organisms: from bacteria and plants to mammals. Various mutagen and toxic effects are shown.

Key words: *carbon nanotubes, nanotoxicology*

Nina Sayapina, Post-graduate Student
Alexander Sergievich, Candidate of Biology, Doctoral
Candidate at the Physiology and Pathophysiology
Department

Tatiana Batalova, Doctor of Biology, Associate Professor,
Head of the Physiology and Pathophysiology Department
Mikhail Novikov, Minor Research Fellow at the Toxicology
Laboratory

Anna Asadcheva, Post-graduate Student
Vladimir Chaika, Candidate of Biology, Associate Professor
at the Department of Environment Protection
Kirill Golokhvast, Candidate of Biology, Senior Research
Fellow, Associate Professor at the Department of Health
Safety in the Technosphere. E-mail: droopy@mail.ru