

Полученные результаты значительно расширяют представление о влиянии наночастиц на различные биообъекты. В свете того, что водные рачки *C. affinis* и микроводоросли *C. vulgaris* оказались наиболее чувствительными организмами к действию наночастиц, они могут быть рекомендованы для проведения биотестирования наноразмерных материалов в аспекте их безопасности для окружающей среды.

Научная новизна диссертации. В работе исследовано влияние наночастиц диоксидов кремния и титана, а также серебра на биологических объектах различного уровня организации с использованием единого подхода к оценке их токсичности. Это положительное отличие представленной работы от многих ранее опубликованных.

Структура и содержание диссертации. Диссертационная работа Асановой А.А. оформлена в соответствии с требованиями ВАК Министерства образования и науки РФ, состоит из введения, четырех глав (обзор литературы, описание объектов и методов, результаты исследования и обобщающий анализ), выводов и списка литературы, включающего 286 источников, в том числе 234 источника на иностранных языках. Работа изложена на 158 страницах, содержит 45 рисунков, 6 таблиц и 1 приложение.

Первая глава представлена тремя подразделами 1.1. - 1.3. В первом подразделе раскрывается актуальность исследуемой проблемы, раздел 1.2. освещает уже существующие подходы к ее решению, раздел 1.3. подробно раскрывает степень мировой изученности данного вопроса для каждого типа наночастиц. В качестве положительного момента следует отметить логически обоснованную структуру главы, а также достаточно большое количество литературных источников (большинство из которых на иностранных языках) и присутствие личного мнения автора по обсуждаемым вопросам.

Вторая глава «Объекты и методы исследования» весьма традиционна и также не вызывает замечаний. Положительным отличием является сочетание классических методов биотестирования и авторских методик.

В третьей главе автором представлены полученные результаты исследований ответных реакций восьми тест-объектов, которые изложены в порядке изменения уровня биологической организации. Достаточно большой массив полученных экспериментальных данных изложен логично, с соблюдением единой структуры. Все подразделы главы содержат обсуждение результатов с предположениями автора о возможных механизмах воздействия наночастиц на исследуемые тест-объекты, что является несомненным плюсом работы. В конце подразделов приведены промежуточные обобщающие выводы.

В четвертой главе проведен обобщающий анализ экспериментальных данных, полученных с объектами различного уровня организации и с наночастицами разных типов. Результаты структурированы в сводной таблице. В целом это служит обоснованием общих выводов по диссертации. Экспериментальные данные обработаны с использованием рангового дисперсионного анализа для каждого типа биологических объектов, а также для каждого типа наночастиц, что позволило статистически обосновать выводы 4 - 6.

Автором поднимается очень интересный и актуальный на сегодняшний день вопрос о зависимости токсичности наночастиц от их размера. Так, в диссертационной работе показано, что наночастицы диоксида кремния большего размера (100 нм) статистически значимо более токсичны для исследуемых биообъектов, по сравнению с частицами меньшего размера (15-20 нм). В то же время, в диссертации цитируется ряд работ других авторов, в которых получены противоположные выводы для наночастиц (!) тех же типов. В частности, А. А. Асанова обращает внимание, что авторы цитируемых работ показали повышенную токсичность наночастиц серебра более мелких размеров. Аналогичный эффект продемонстрирован для наночастиц диоксида титана. С наночастицами диоксида кремния получены противоречивые результаты. Например, на кератиноцитах мыши, диатомовой водоросли и рачках, зеленой водоросли найдено увеличение токсического эффекта при уменьшении размера наночастиц. В то время как в других исследованиях с использованием *S. vulgaris* и гепатоцитов человека наночастицы крупного размера были более токсичные,

чем наночастицы меньшего размера. В связи с этим возникает вопрос. Как, по мнению диссертанта, можно объяснить такой расхождение в выводах, сделанных в статьях целого ряда авторов и научных коллективов?

В диссертации А.А. Асановой имеется ряд других моментов, которым которые вызывают вопросы.

1. В качестве тест-объекта выбран овес посевной, так как его использование позволяет получить стабильные и воспроизводимые результаты. Замечание - воспроизводимость опытов связана не только с особенностями тест-объекта, но и с тем, как экспериментатор обращается с наночастицами.

2. Воздействие наночастиц на ферментную систему «NADH:FMN-оксидоредуктаза и люцифераза» оценивали по интенсивности биолюминесценции (автореферат, табл. 1 на стр.7). Что именно определялось – максимум свечения или сумма импульсов? На основании чего сделан выбор контрольного показателя (максимум свечения, константа спада кривой биолюминесценции)?

3. Почему за критерий роста многоклеточных организмов (грибов) выбрана линейная фаза роста, а не логарифмическая. В фазе линейного роста грибы находятся в состоянии лимитированного (или ингибированного) роста каким-либо фактором среды (часто неизвестным), поэтому эффект воздействия их на объект может быть опосредованным.

4. В диссертации не дано ясное описание методики получения наночастиц и методов определения их, в частности размеров. Исходно наночастицы были взяты в виде порошков. В каком состоянии они были при проведении экспериментов? Как готовили растворы?

5. Можно ли считать, что обработка суспензий в ультразвуковом диспергаторе приводит к дезагрегации частиц взвеси вплоть до зольей?

Выводы соответствуют названию диссертационной работы, поставленной цели и положениям, выносимым на защиту, в них емко и обоснованно отражена суть работы и полученных результатов. Однако, считаю, что термин “реакция” в выводах 4 и 6 в данном случае неоднозначен, и его следует заменить на более подходящий “чувствительность”. Автореферат соответствует содержанию работы

и дает представление о содержании работы в целом. Однако в диссертации описан целый ряд интересных данных, которые не были вынесены в текст автореферата.

Результаты исследований апробированы на 5 конференциях различного уровня, включая международный. По материалам диссертационной работы опубликовано 9 статей, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, в том числе 4 публикации проиндексированы в мировой базе научного цитирования Scopus. Публикации достаточно полно отражают результаты, полученные в ходе диссертационного исследования.

Достоверность результатов проведенных исследований. Полученные данные достаточно объемных экспериментов обработаны с использованием методов статистического анализа. Полученные итоговые результаты не вызывают сомнения в их достоверности.

Заключение. Замечания, представленные в рецензии, не изменяют основные результаты и выводы автора. Работа выполнена на высоком научно-методическом уровне. В представленной работе содержится решение поставленных задач, а именно установлена токсичность наночастиц серебра, двуокиси титана и кремния в отношении широкого ряда тест-объектов, различающихся по уровням биологической организации и сред обитания, определено влияние размера наночастиц диоксида кремния на оказываемый ими биологический эффект. Полученные результаты имеют существенное значение для нанотехнологии, нанотоксикологии и экотоксикологии. Результаты исследований А.А. Асановой токсичности искусственных наночастиц для биологических объектов окружающей среды с 2017 года используются в лекционном курсе «Основы экотоксикологии» для студентов Красноярского государственного аграрного университета направления агрохимии и агропочвоведения, профиля агроэкология.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям п.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (в ред. от 02.08.2016г.), предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата

биологических наук, а ее автор – Асанова Анастасия Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.08 – экология (биология).

Отзыв обсужден и одобрен на семинаре Международного научного центра исследований экстремальных состояний организма (КНЦ СО РАН), протокол №9 от 9 октября 2019 года

Главный научный сотрудник
Международного научного центра
исследований экстремальных состояний
организма Федерального
государственного бюджетного научного
учреждения «Федеральный
исследовательский центр «Красноярский
научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук», доктор
физико-математических наук (03.00.02 –
биофизика)
660036, Красноярск, Академгородок, 50
Тел. 8 (391) 243-34-25
Эл. почта: btchem@mail.ru
09.10.2019

Гуревич Юрий
Леонидович

Подпись д.ф.-м.н. Гуревича Ю.Л.
ЗАВЕРЯЮ
специалист по кадрам



Лебедкина О.И.