

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Гусева Александра Анатольевича
**«Экотоксикологические характеристики высокодисперсного
кристаллического углерода»**, представленную на соискание ученой степени
доктора биологических наук по специальности
03.02.08 – Экология (биологические науки)

Нанотехнологии являются одним из наиболее многообещающих направлений развития науки и техники последних лет. Синтезируемые наноматериалы за счет своих уникальных свойств превосходят традиционные аналоги, например, в области биотехнологий и медицины использование нанотехнологических подходов позволило вывести на новый уровень методы адресного воздействия и молекулярной детекции. Бурное развитие наноиндустрии неизбежно ведет к массовому поступлению искусственных нанообъектов в окружающую среду. Однако системные представления об экологической безопасности наночастиц в настоящее время отсутствуют. Поэтому для наиболее массово производимых наноматериалов, к которым относятся металлические, силикатные и углеродные наночастицы, необходимо проведение комплексной экотоксикологической оценки для определения критериев безопасности. Это определяет актуальность рецензируемой работы.

Гусевым А.А. проведено исследование влияния перспективного наноматериала – многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) на представителей различных эколого-функциональных групп для формирования методических рекомендаций по установлению пределов толерантности и оценке устойчивости организмов к данному фактору природно-техногенного происхождения в лабораторных условиях. При этом решались такие научно-методические задачи, как разработка методологии анализа содержания наночастиц (на примере МУНТ) в природных средах и биообъектах; создание и исследование экспериментальной модели поступления МУНТ в живые организмы при переходе в водную среду; оценка применимости метода концептуального моделирования экологических рисков для определения степени потенциальной опасности МУНТ и ряд других.

Работа прошла достаточную апробацию. По теме исследования автором опубликована 21 статья в журналах перечня ВАК, а также получено 4 свидетельства об охране РИД.

В разделе «Обзор литературы» автором анализируется современное состояние исследований экологической безопасности углеродных наноматериалов в контексте развития на стыке экологии, токсикологии и гигиены новой научной дисциплины – нанотоксикологии. При этом автором используются 293 источника, в том числе 174 на иностранных языках.

В разделе «Материал и методы исследований» приводится характеристика исследуемого материала, описываются методики исследований. Обращает на себя внимание разнообразие используемых

методов и подходов, что представляется вполне оправданным. Так, Гусевым А.А. применяются методы теоретического исследования, например, моделирование, а также широкий спектр методов, характерных для современных физики, химии и биологии (сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, фотонная корреляционная спектроскопия, аэрозольная спектрометрия, высокоэффективная жидкостная хроматография а также классические методы цитогенетики, гистологии, биохимии, морфологии и физиологии). Это позволило автору получить убедительные результаты, представляющие несомненный интерес как для экологии, так и для медицины и биотехнологий.

В разделе «Анализ содержания в средах и моделирование процесса перехода МУНТ в биодоступную форму» приводятся данные об идентификации исследуемого наноматериала как МУНТ; подтверждается способность наночастиц переходить в аэрозольное состояние в ходе их производства, а также приводится информация о разработке оригинальной методики перевода МУНТ в водные суспензии для проведения дальнейших эколого-биологических исследований. В целом, предлагаемый А.А. Гусевым подход следует признать успешным с той оговоркой, что для проведения биологических исследований пригодны только свежеприготовленные суспензии.

В разделе «Определение степени потенциальной опасности МУНТ методом концептуального моделирования» автором на основе анализа литературных источников проводится моделирование воздействия МУНТ на биообъекты по методике, рекомендованной Роспотребнадзором. Стоит отметить, что результаты моделирования хорошо согласуются с итогами последующих экспериментальных работ, что подтверждает достоверность полученных данных.

В разделе «Оценка влияния МУНТ на бактерий и гидробионтов» на достаточно широкой линейке тест-объектов – бактериях, микроводорослях, ракообразных и членистоногих – автором установлены полуметаллические и безопасные концентрации МУНТ в водной среде. Приводится сопоставление с химическим аналогом – сажой, хорошо изученной с точки зрения токсикологии. Отмечается антимикробная активность МУНТ по отношению к грамположительным и грамотрицательным бактериям. Важным выводом является то, что на субклеточном уровне реакция на МУНТ является более чувствительной по сравнению с реакцией на организменном уровне. Это подтверждается наличием цитогенетических нарушений в хромосомах *Ch. riparius*, оказавшихся наиболее толерантными к воздействию МУНТ.

Раздел «Оценка способности МУНТ к биоаккумуляции в тканях растений и сопутствующие морфофизиологические и биохимические эффекты» с точки зрения перспективного применения МУНТ в биотехнологиях является одним из самых интересных в работе. На примере эспарцета автором описывается способность высших растений поглощать с корневым питанием и накапливать МУНТ в своих тканях. Это подтверждает

опасения, связанные с возможной аккумуляцией наночастиц в звеньях трофической цепи. С другой стороны, данный факт позволяет рассматривать углеродные наноматериалы как возможное средство адресной доставки в растения удобрений, стимуляторов роста, средств защиты и т.д. Исследование последствий воздействия МУНТ на растения не позволило сделать однозначных выводов о токсическом эффекте, наоборот, в некоторых случаях МУНТ позитивно влияли на такие параметры проростков, как длина корня и содержание хлорофилла. В свете полученных результатов, в качестве рекомендаций к данному разделу можно порекомендовать расширить список растительных тест-объектов за счет видов, имеющих важное хозяйственное значение, а также провести исследования влияния МУНТ на растения и почвенную биоту в полевых условиях.

Раздел «Анализ патофизиологических, гистологических и репродуктивных эффектов МУНТ на лабораторных мышах» представляет несомненный теоретический и практический интерес как с точки зрения производственной безопасности, так и медицины. Как и в других разделах работы, автором отмечены важные ранее не описанные эффекты, наиболее значимым из которых является обнаруженная репродуктивная токсичность МУНТ, что выразилось в снижении индекса оплодотворяющей способности самцов мышей. Это подтверждает данную в ходе моделирования оценку МУНТ как материала с высокой степенью потенциальной опасности и делает целесообразным проведение дальнейших углубленных исследований с привлечением методов эмбриологии, генотоксикологии, популяционной экологии и др.

Наконец, в разделе «Разработка подходов для создания экологически обоснованных норм воздействия МУНТ на биообъекты» приводятся предложения по ориентировочным критериям безопасности МУНТ и анализируется применимость использованных в работе тест-объектов и тест-функций для разработки экологически обоснованных норм воздействия МУНТ на биообъекты. Раздел является своего рода обобщением результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований. Возможно, автору стоило представить данную информацию в виде заключения.

Выводы, сделанные автором, являются логичными, обоснованными и вполне согласуются с поставленными задачами.

Несмотря на сделанные выше замечания и рекомендации, рецензируемая работа производит очень благоприятное впечатление, является своевременной и выполнена на хорошем научно-методическом уровне.

Резюмируя, можно отметить, что диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, в которой решаются задачи, имеющие существенное значение для науки и практики. Работа соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской

Федерации № 842 от 24.09.2013 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 года № 335), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор, Гусев Александр Анатольевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора биологических наук по специальности 03.02.08 – Экология (биологические науки).

Директор ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», доктор с.-х. наук, академик РАН
(Адрес: 127550, Москва, ул. Прянишникова, 31-А, тел. (499) 976-37-50, факс: (499) 976-37-39, e-mail: info@vniia – pr.ru)



Сычев Виктор Гаврилович

Подпись В.Г. Сычева заверяю
Ученый секретарь
ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Чернова", written over a horizontal line.

Чернова Людмила Степановна