

ОТЗЫВ

**официального оппонента о диссертации *Морозова Андрея Васильевича*
на тему: «Взаимодействие компонентов в системе «загрязненный
песчаный грунт – растение» при фитотестировании»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук
по специальности 1.6.21. Геоэкология**

Актуальность темы исследования

Актуальность выбранной для исследования темы обусловлена тем, что пески, являясь одним из наиболее широко распространенных типов грунтов, в том числе в районах нефтедобычи, подвергаются масштабному комплексному загрязнению, в первую очередь, различными нефтепродуктами, а также солями, входящими в состав технологических жидкостей, используемых при бурении. Традиционный санитарно-гигиенический подход к оценке уровня загрязнения подобных систем, основанный на системе предельно допустимых концентраций, не отражает реальной биологической значимости воздействия токсикантов на живые организмы. Одной из причин является отсутствие возможности учета синергетических и антагонистических сценариев взаимодействия загрязняющих веществ. Среди методов исследования токсичности различных сред варианты экспериментального лабораторного определения реакции живых организмов на совокупное ингибирующее воздействие веществ, находящихся в субстрате, в последнее время приобретают все большую популярность. Наиболее распространенными являются методы биотестирования с использованием различных живых организмов, однако в отношении грунтовых систем целесообразно применение фитотестирования, основанного на изучении реакции высших растений на комплексное острое токсическое воздействие веществ, находящихся в исследуемом субстрате. Учитывая сложность, многокомпонентность и динамичность грунтов для научно-обоснованной интерпретации результатов фитотестирования следует применять системный подход. Изучение взаимодействия компонентов в системе «грунт-растение»

является одним из наиболее обоснованных подходов к научному объяснению наблюдаемых биологических реакций растений. Исследование закономерностей функционирования загрязненной грунтовой системы при фитотестировании является практически значимой задачей, особенно в контексте совершенствования подходов к рекультивации нефтезагрязненных территорий.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа изложена на 159 страницах машинописного текста, состоит из введения, 8 глав, заключения, списка литературы из 152 наименований, а также 4 приложений. Текст содержит 8 таблиц и 61 рисунок. Структура работы соответствует цели и поставленным задачам исследования.

Во **введении** сформулированы цель и задачи исследования, обоснована актуальность работы, научная новизна и практическая значимость. Охарактеризованы объекты и методы научного исследования, приведены положения, выносимые на защиту, сведения об апробации работы и личном вкладе автора. Данная часть работы соответствует требованиям, изложена грамотно и логично. Научные положения и выводы диссертационной работы корректны и обоснованы.

В **первой главе** рассмотрены особенности системы «загрязненный песчаный грунт – растение» с позиций системного подхода, обоснована целесообразность применения метода экспериментального моделирования для исследования взаимодействия компонентов, выделены и охарактеризованы абиотические и биотические компоненты, определены ключевые процессы и возможные сценарии взаимодействия компонентов, влияющие на функционирование рассматриваемой системы.

Вторая глава посвящена анализу распространения и характера загрязнения песчаных грунтов в пределах районов нефтедобычи, также отмечено широкое использование песков при технологическом обустройстве объектов инфраструктуры нефтепромыслов. Показано, что в пределах

территорий добычи нефтепродуктов реализуется сложное комплексное загрязнение грунтов, определены основные токсиканты.

В третьей главе рассмотрена история развития и перспективы применения фитотестирования как метода экотоксикологической оценки биологической значимости уровня и состава загрязнения грунтовых систем. На основе анализа большого количества как российских, так и зарубежных нормативных документов и с учетом опыта предыдущих исследований обоснован выбор тест-культур и тест-параметров для экспериментального исследования системы «загрязненный песчаный грунт – растение».

В четвертой главе приведено теоретическое обоснование и экспериментальное исследование механизмов взаимодействия компонентов загрязняющих веществ с поверхностью кварцевых зерен в песчаных грунтах. Выявлены основные физико-химические процессы, реализующиеся в исследуемой системе при увлажнении и внесении загрязнителей, способные оказывать влияние на итоговый токсический эффект компонентов дизельного топлива и раствора хлорида натрия. Также на основании проведенного анализа показана роль коллоидных частиц аморфного кремнезема в определении интенсивности протекания описанных процессов.

Пятая глава посвящена характеристике объектов исследования, используемых в модельных экспериментах. Представлены показатели состава и свойств четырех песчаных грунтов, отдельное внимание автор уделит исследованию поверхности и минеральному составу, в том числе зерен песка. Также определялись показатели биотических свойств: активности ферментов и количество активных сообществ микроорганизмов, на основании этого были получены новые и значимые экспериментальные данные. Далее приведены: характеристика используемых культур высших растений: горчицы белой и сорго сахарного, особое внимание уделено особенностям их развития на ювенильной стадии; характеристика загрязняющих веществ, в том числе компонентный состав используемого дизельного топлива.

В шестой главе последовательно описана экспериментальная методика исследования системы «загрязненный песчаный грунт – растение». Подробно изложена схема создания моделей загрязненных песчаных грунтов, с учетом диапазона концентраций, соответствующего реальным сценариям загрязнения на территории нефтепромыслов. Отдельное внимание уделено описанию методик оценки биотических свойств: определению активности уреазы, дегидрогеназы и пероксидазы, а также общей численности микроорганизмов. Особое значение имеет обоснование применения планшетного аппликатного фитотестирования как наиболее информативного метода для оценки биологической значимости загрязнения песчаных грунтов.

Также указанное автором количество проведенных экспериментальных исследований по фитотестированию позволяет судить о значительном объеме фактологического материала, который является основой для будущих выводов о закономерности реакции высших растений на углеводородное и солевое загрязнение песчаного грунта.

В седьмой главе представлены результаты экспериментальных исследований системы «загрязненный песчаный грунт – растение». По результатам оценки изменения влажности субстрата при проведении фитотестирования делается вывод о постоянстве условий проведения эксперимента и, соответственно, достоверности полученных значений тест-параметров.

Анализируя результаты фитотестирования, автор заключает, что солевое загрязнение вызывает четко выраженный, дозозависимый токсический эффект, в то время как реакция используемых высших растений на углеводородное загрязнение носит нелинейный характер с наличием зоны стимуляции при определенных концентрациях. Также значимым является обнаружение резкого усиления токсичности при комбинированном загрязнении. На различных этапах вегетационного эксперимента проведена оценка динамики изменения биотических свойств грунтов, что позволило выявить корреляции между показателями численности микроорганизмов,

ферментативных активностей и биологической реакцией растений. Полученные результаты наглядно проиллюстрированы различными графиками и диаграммами, в том числе приведены зависимости «доза-эффект», позволяющие сделать вывод о большей чувствительности двудольной культуры – горчицы белой.

Восьмая глава посвящена выявлению закономерностей функционирования исследуемой системы при различных сценариях загрязнения. На основании комплексного анализа полученных результатов, а также теоретических представлений автор делает закономерные и обоснованные выводы о причинах проявления острого токсического эффекта при солевом загрязнении и нелинейной биологической реакции тест-объектов при углеводородном. В случае комбинированного загрязнения обоснована концепция синергетического взаимодействия раствора соли и дизельного топлива, приводящего к проявлению острого токсического эффекта. Глава содержит оригинальные схемы, наглядно иллюстрирующие механизмы взаимодействия компонентов загрязняющих веществ на границе раздела фаз в песчаной грунтовой системе и их влияние на интенсивность жизнедеятельности сообществ микроорганизмов и высших растений.

Закключение включает в себя обобщение результатов проведенного диссертационного исследования, формулировку основных выводов работы, обоснованных фактическим материалом и подтверждающих научную новизну и защищаемые положения.

Обоснованность положений, выносимых на защиту, выводов и рекомендаций

Обоснованность положений, выносимых на защиту, а также научных выводов и рекомендаций, определяется методическим подходом к решению, поставленных в работе задач, использованием современной методологии научных исследований, репрезентативностью и полнотой фактического материала.

Достоверность и научная новизна

Достоверность и научная новизна полученных автором результатов определяется представительностью использованного литературного и фактического материала, полученного в ходе экспериментальных исследований, а также применением современных инструментов и методов обработки результатов. Также основные результаты диссертационного исследования были представлены автором на российских и международных конференциях и опубликованы в 3 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.21. Геоэкология.

Научная и практическая значимость работы

1. На основе существующих теоретических представлений и собственных экспериментальных исследований выявлены особенности физико-химических процессов, происходящих на поверхности песчаных кварцевых зерен при взаимодействии с нефтяными углеводородами и раствором хлорида натрия ($NaCl$), определяющие биологическую значимость состава и уровня загрязнения.

2. Показано влияние содержания коллоидных частиц аморфного кремнезема и наличия дефектов поверхности зерен кварца на интенсивность физических и физико-химических процессов, протекающих на границе раздела фаз в системе загрязненного песчаного грунта.

3. Впервые для песчаных грунтов определены значения биотических показателей (ферментативной активности и общей численности микроорганизмов), установлены закономерности их изменения при воздействии различных типов загрязнителей, а также в процессе фитотестирования.

4. По результатам фитотестирования комплексного загрязнения (нефтяными углеводородами и раствором хлорида натрия) песчаных грунтов выявлена приоритетная роль солевого загрязнения в проявлении токсического

эффекта в отношении используемых тест-культур: горчицы белой (*Sinapis a.*) и сорго сахарного (*Sorghum s.*).

5. Обоснована и экспериментально подтверждена концепция синергетического взаимодействия углеводородного и солевого загрязнений в песчаной грунтовой системе, выражающаяся в увеличении суммарного токсического эффекта по отношению к тест-культурам используемых высших растений.

Соответствие содержания автореферата диссертации

Содержание автореферата полностью соответствует главным положениям и структуре диссертационного исследования.

Вопросы и замечания по диссертации

В связи со сложностью и междисциплинарностью проведенных исследований возникает ряд **вопросов и замечаний**:

1. Представленные в главе 4 и на рис. 3, 4 автореферата схемы взаимодействия компонентов загрязняющих веществ с поверхностью кварцевых зерен, равно как и их привлечение к объяснению полученных сложных закономерностей отклика биологической активности в тестируемых модельных системах на дозы засоления и загрязняющих веществ, представляются гипотетичными и требуют в дальнейшем тщательной проверки с использованием дополнительных экспериментов в сопоставлении с предлагаемыми умозаключениями. В частности:

1.1. Число монослоев адсорбата с химической формулой $C_{12}H_{23}$ (молярная масса $M=12*12+23=167$ г/моль) и площадью молекулы $S_{сеч}=5,8*10^{-19}$ м² при дозе 1% (0,01 г/г) и удельной поверхности частиц адсорбента 0,1–0,4 м²/г есть, очевидно, отношение числа Авогадро к молярной массе, умноженное на площадь молекулы и на дозу адсорбата, и деленное на удельную поверхность частиц, или $n = 6.0221408*10^{23}/167*5,8*10^{-19}*0,01/[0,1-0,4]= 52-209$. Откуда у автора числа 55–161 не очень понятно.

- 1.2. Но, главное, не это. Автор использовал экспериментальные величины удельной поверхности, определенной стандартным БЭТ-методом по сорбции азота. Однако на схеме рис. 3 автореферата он выделяет поверхность собственно кварцевых частиц с диаметром $d = 0,17\text{--}0,31$ мкм. Если ее посчитать по известной формуле $S = 6/(\rho_s d)$, где $\rho_s = 2650$ кг/м³ – плотность кварца, то подходящие для схемы величины S будут равны $0,0073\text{--}0,0133$ м²/г, то есть в 13–30 раз меньше, чем дает эксперимент, где «разница» это, очевидно, доминирующий вклад коллоидной фракции, не фигурирующей на схеме рис. 3. Соответственно, будет и иное число монослоев по такой схеме – в 13–30 раз больше, чем оценка автора или 1570–2864. В целом же, очевидно, что это никакие не «монослои», равно как и предыдущая оценка в десятки–сотни n , так как на такие расстояния не распространяются адсорбционные силы, и основная часть 1% загрязнителя это его сплошная жидкая фаза, или, возможно, некоторая, как предположил автор, – это водная суспензия, если было интенсивное перемешивание.
- 1.3. Очень умозрительной представляется идея об «агрегирующей» роли иона Na^+ для коллоидного кремнезема (рис. 1 и 4 автореферата). Натрий, в отличие от двухвалентного кальция с общепринятой и в грунтоведении и в почвоведении ролью структуробразующего агента, напротив, известный диспергатор, как с позиций теории ДЛФО для коагуляционных контактов через слабые ван-дер-ваальсовы взаимодействия, так и по причине отсутствия еще одной связи для «мостиков» с функциональными группами в случае химических связей.
2. В реальных природных условиях маловероятно загрязнение почвогрунтов в «воздушно сухом» состоянии, как это моделировалось в лаборатории. Мало того, предшествующие работы авторского коллектива, в частности диссертация Г.А. Саркизова

(2019) показали на сильные различия в водоудерживающей способности при углеводородном загрязнении сухих или предварительно увлажненных пористых сред. Неясно, почему этот фактор (исходная влажность) был исключен из методической схемы геоэкологических опытов (глава 6 диссертации).

3. Непонятна (по-видимому, неправильная запись числителя) формула для расчета эффекта токсичности (ЭТ, %) в главе 6 диссертации и в публикации Морозов и др., 2025 в ж. Геоэкология №3, не к чести рецензентов этого журнала. Из этой формулы следует, что ЭТ% будет иметь положительные значения, если показатели в пробе выше, чем на контроле, но тогда, какой же это «эффект торможения», как пишут авторы в объяснении к формуле? Да и в таблицах статьи ЭТ дан с отрицательным знаком для «эффекта торможения». То есть, похоже, перепутан знак в формуле, точнее позиции «пробы» и «контроля» в ее числителе.

Указанные выше замечания не умаляют значимости этого комплексного, междисциплинарного, масштабного диссертационного исследования и носят рекомендательный характер. Наиболее ценной его частью, на наш взгляд, является новая для геоэкологии и статистически подтвержденная для двух тестовых культур информация о сложной (нелинейном) отклике в фитотестировании в консорциуме с микрофлорой на абиотические факторы углеводородного загрязнения и синергетическом эффекте от загрязнения и засоления пористых сред, усиливающим ингибирование их биологической активности.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.21. Геоэкология (по геолого-минералогическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете

имени М.В. Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Морозов Андрей Васильевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21. Геоэкология.

Официальный оппонент:

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник кафедры физики и мелиорации почв
факультета почвоведения
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова»

Садовникова Надежда Борисовна

21.01.2026

Контактные данные:

тел.:

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена
диссертация:

06.01.03. Агрофизика

Адрес места работы:

119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1, стр. 12,
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова», факультет почвоведения
Тел.: +7 (495) 939-36-22; e-mail: u

Подпись старшего научного сотрудника ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», факультет почвоведения
Н.Б. Садовниковой удостоверяю: *Надежда Борисовна*

Н.Б. Садовникова