

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук *Садова Сергея Сергеевича* на тему: «Эколого-геологический подход к оценке класса опасности песчано-глинистых грунтов как отходов строительной деятельности» по специальности 1.6.21. Геоэкология

Актуальность темы исследования. Представленная диссертационная работа направлена на решение комплексной проблемы совершенствования методических подходов к оценке класса опасности песчано-глинистых грунтов, образующихся в процессе строительной деятельности. Актуальность исследования не вызывает сомнений, поскольку в условиях активного развития строительной отрасли в Российской Федерации и, в частности, в Москве и Московской области, ежегодно извлекается огромное количество грунтовых масс, подлежащих классификации и дальнейшему использованию или захоронению. Согласно данным, приведенным в диссертации, объемы образованных отходов производства и потребления устойчиво растут на протяжении последних 18 лет, при этом утилизируется лишь около половины их общего количества. Особое опасение вызывает увеличение доли малоопасных и неопасных отходов (классов опасности IV и V), которые составляют более 98% от общего объема, причем грунты занимают в них значительную часть. При этом, как справедливо отмечает автор, количество известных химических соединений, способных оказывать токсическое влияние на биоту, превышает миллион наименований, при этом ежегодно создается более 250 тысяч новых веществ, из которых лишь около 0,01% имеют установленные нормативы безопасности.

Кроме того, существующие методы оценки не учитывают ряд важных факторов, таких как биодоступность загрязнителей или влияние микробиологической составляющей грунтовых систем на проявление токсичности. Особенно значимой является проблема адсорбции токсичных

соединений на поверхности твердых частиц грунта, что приводит к их недоучету при традиционных элюатных методах биотестирования.

Таким образом, исследование, направленное на совершенствование методических подходов к оценке класса опасности песчано-глинистых грунтов с учетом их особенностей как сложных многокомпонентных систем, является актуальным как с научной, так и с практической точки зрения. Решение поставленных в работе задач позволит повысить точность и достоверность оценки экологической опасности грунтов, извлекаемых при строительных работах.

Структура и содержание работы. Диссертационная работа изложена на 151 странице машинописного текста, состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы из 184 наименований, а также 3 приложений. Текст содержит 9 таблиц и 49 рисунков. Структура работы полностью соответствует цели диссертации и поставленным задачам, логически выстроена и последовательна.

Первая глава посвящена анализу современных подходов к оценке класса опасности грунтов как отходов и их недостатков при обращении с песчано-глинистыми грунтами. Автор проводит детальный анализ объемов и специфики образования песчано-глинистых грунтов, попадающих в категорию отходов при осуществлении строительной деятельности. На основе анализа данных Государственных докладов о состоянии окружающей среды за последние 18 лет автор делает вывод о том, что объем образованных отходов каждые 5 лет последовательно увеличивался. При этом утилизируется и обезвреживается примерно половина от общего количества отходов, независимо от класса их опасности. Особое внимание уделено тому, что доля отходов I-IV класса опасности постепенно уменьшалась с 4,7 до 1,3% в среднем, что означает наличие еще одной проблемы: размещение и техническая обработка малоопасных и неопасных отходов (классов опасности IV и V).

В разделе 1.2 автор критически оценивает существующие подходы к оценке класса опасности отходов. Рассматриваются химико-аналитические методы, где автор справедливо отмечает существенные их ограничения:

неоднородность проб, сорбцию тяжелых металлов и органических веществ на глинистых минералах, недоучет синергетического действия нескольких загрязнителей, упрощение реальной ситуации при нормативно-расчетных методах, недоучет биоаккумуляции загрязнителей, которые могут долго удерживаться глинистой фракцией и постепенно высвобождаться.

Особое внимание уделено сравнительному анализу элюатного и аппликатного способов фитотестирования. Автор отмечает, что элюатный способ, хотя и удобен для предварительной оценки, имеет существенные ограничения, связанные с недоучетом прямого контакта растений с грунтом и потерей части загрязнителей при фильтрации. В то же время аппликатный метод, предусматривающий непосредственный контакт растений с грунтом, позволяет более точно определить проявление острой токсичности в отношении высших растений.

Вторая глава направлена на исследование роли биологической составляющей грунтов в оценке их экотоксичности и класса опасности. Автор рассматривает биотическую составляющую как ключевой фактор, отражающий как краткосрочные, так и хронические эффекты антропогенного воздействия. В работе подробно описана характеристика микроорганизмов, включая прокариоты (бактерии, цианобактерии) и эукариоты (грибы, простейшие), их количественные характеристики и условия существования. Особое внимание уделено влиянию жизнедеятельности микроорганизмов на состав и свойства грунтов, включая разрушение минералов, их трансформацию и новообразование. В разделе 2.2 рассматривается роль микробиологической составляющей при оценке экотоксичности. Автор отмечает, что микроорганизмы служат одними из наиболее чувствительных показателей экологического состояния грунтов: их состав, численность и биомасса быстро реагируют на антропогенные воздействия. Приведены примеры исследований, демонстрирующие снижение биомассы при загрязнении свинцом и качественные сдвиги в микробных сообществах вблизи промышленных объектов. Рассмотрены методы оценки микробиологической активности, включая прямые (люминесцентная

микроскопия), физиологические (субстрат-индуцированное дыхание) и биохимические методы (определение биомаркеров микробной биомассы). В современной практике основными микробиологическими индикаторами при экотоксикологических исследованиях выступают микробная биомасса, дыхательная активность и активность ферментов (дегидрогеназы, уреазы, фосфатазы).

В третьей главе приводится характеристика объектов исследования для проведения химико-аналитических и экотоксикологических исследований. В качестве объектов были отобраны песчано-глинистые грунты с действующих стройплощадок Москвы, включая образцы с бывшей свалки, территории автомобилестроительного предприятия, участков строительства метрополитена и улично-дорожной сети. В качестве контроля использовался референтный грунт, при этом для проверки значимости исходного материала применялись три вида кварцевого песка из разных регионов России. Химический анализ выявил наиболее загрязненным из анализируемых песчано-глинистых грунтов – песок мелкий неоднородный с территории бывшего автомобилестроительного предприятия.

Для экотоксикологической оценки были выбраны тест-культуры высших растений — горчица белая (*Sinapis alba*), сорго сахарное (*Sorghum saccharatum*) и кресс-салат (*Lepidium sativum*), отобранные по критериям чувствительности к широкому спектру загрязнителей и соответствия международным стандартам. Для эллюатного биотестирования использовались гидробионты: рачки *Daphnia magna* и зеленые протококковые водоросли *Scenedesmus quadricauda*, чья высокая чувствительность к токсикантам и стандартизированные методики культивирования обеспечивают надежную оценку острой токсичности водных вытяжек из грунтов. Выбор данных тест-объектов обоснован их способностью выявлять биологически значимое загрязнение, включая соединения, не определяемые химико-аналитическими методами.

Четвертая глава посвящена методике экспериментальных исследований для определения класса опасности грунтов. Автор подробно описывает

применяемые методы оценки острой и хронической токсичности грунтов. Были применены три метода биотестирования: планшетное аппликатное фитотестирование с использованием горчицы белой и сорго сахарного (252 планшета, 2720 семян), биотестирование на рачках *Daphnia magna* и водорослях *Scenedesmus quadricauda* с измерением уровня флуоресценции хлорофилла. Особое внимание уделено сравнению двух способов укладки семян: с применением фильтровальной бумаги (согласно нормативу) и с непосредственным контактом семени с грунтом для обеспечения «безбарьерного» доступа к адсорбированным на поверхности частиц соединениям. Для оценки хронической токсичности применялся метод определения микробного токсикоза грунтов с использованием кресс-салата, который включал 14-дневную инкубацию грунтов с последующим 7-дневным проращиванием семян. Данный метод позволяет выявить проявление биологической «агрессивности» грунта со временем, обусловленной образованием токсичных продуктов метаболизма микроорганизмов.

В пятой главе представлены результаты комплексной экотоксикологической оценки класса опасности песчано-глинистых грунтов. По результатам расчетного метода, основанного на химико-аналитических исследованиях, всем исследуемым пробам грунта был присвоен V класс опасности (практически неопасный). Верификация расчетного класса опасности методами биотестирования на гидробионтах (рачки *Daphnia magna* и водоросли *Scenedesmus quadricauda*) подтвердила отсутствие острого токсического эффекта в водных вытяжках из всех исследуемых образцов.

Однако дополнительные исследования методами аппликатного фитотестирования выявили существенные расхождения с результатами элюатных методов. При непосредственном контакте семян тест-растений с грунтом (без фильтровальной бумаги) был зафиксирован острый токсический эффект в образцах суглинка пылеватого легкого тугопластичного и песка мелкого неоднородного, что свидетельствует о необходимости присвоения этим грунтам IV класса опасности. При оценке хронической токсичности путем

инициации микробного сообщества проявление микробиологической активности было обнаружено во всех исследуемых грунтах, при этом наибольший эффект торможения развития корневой системы проявили образцы суглинка и песка мелкого. Таким образом, с учетом результатов аппликатных методов экотоксикологической оценки рекомендуется присвоение суглинку и песку мелкому — IV класса опасности, а песку средней крупности и супеси — V класса, а также проведение рекультивационных мероприятий для снижения патогенной микробиологической активности во всех исследованных грунтах.

В шестой главе предложена усовершенствованная модель определения класса опасности песчано-глинистых грунтов с эколого-геологических позиций. Принципиальными отличиями от действующей системы являются: проведение экотоксикологических исследований перед химическим анализом; расширение спектра исследований за счет оценки микробиологической активности как проявления хронической токсичности; применение планшетного аппликатного фитотестирования с высшими растениями наряду с традиционным биотестированием на гидробионтах; комплексный подход к расчету класса опасности. Эксперименты подтвердили высокую чувствительность аппликатных методов: на примере суглинка с бывшей свалки и песка с территории автомобилестроительного предприятия было выявлено биологически значимое загрязнение, не обнаруженное элюатными методами и химико-аналитическими исследованиями.

В заключении представлены основные результаты и выводы диссертационной работы, полностью согласующиеся с поставленными задачами.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, обеспечивается применением научно обоснованного методического подхода к решению поставленных задач; использованием современных методов исследований и статистической обработки полученных данных; безусловной репрезентативностью фактологического материала.

Достоверность и научная новизна полученных результатов подтверждается большим объемом лабораторных экспериментов автора, выполненных с использованием наиболее современных методик, применяемых в эколого-геологических исследованиях. В рамках экспериментальных исследований было проведено для определения острой токсичности: 252 единичных планшетных фитотестирования (использовано и проанализировано 2720 семян высших растений); выведена синхронизированная культура *Daphnia magna Straus*, с целью посадки (700 особей) в водные вытяжки из анализируемых грунтов. Для оценки хронической токсичности выполнен эксперимент, включающий 94 единичных фитотестирования (940 семян высших растений) с использованием чашек Петри. По результатам экспериментов было измерено и статистически обработано более 7000 единичных показателей морфометрических характеристик используемых тест-культур высших растений, оценена выживаемость 700 особей рачков *Daphnia magna Straus* и определен уровень флюоресценции хлорофилла водорослей *Scenedesmus quadricauda* в 60 анализируемых пробах (водных вытяжках из грунтов).

Основные положения диссертационной работы представлены автором на различных Российских и международных конференциях и опубликованы в 4 научных работах, в том числе в 3 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.21. Геоэкология.

Научная и практическая значимость диссертационной работы заключается в следующем.

– Особое влияние на проявление токсичности оказывает микробиологическая активность биологической компоненты грунта, которая напрямую зависит от способа тестирования. Проведенная серия экспериментов показала высокую чувствительность высших растений на наличие в исследуемых грунтах (субстратах) токсичных соединений и опасных сообществ биотической компоненты.

– Полученные результаты позволяют сделать вывод о необходимости

первоочередного проведения экотоксикологических исследований перед анализом химического состава возможного загрязнения, ориентируясь на биологическую значимость его композиционного влияния на живые организмы. Это позволит сократить количество проб, направляемых на дорогостоящий химико-аналитический анализ, и обеспечить существенную экономическую выгоду.

– Результаты работы могут быть рекомендованы к использованию для совершенствования современной системы оценки класса опасности отходов, в отношении песчано-глинистых грунтов, а также в практике, применяемой в рамках инженерно-экологических изысканий.

– Уточнена методика планшетного аппликатного фитотестирования за счет обеспечения «безбарьерного» типа контакта семян высших растений, что обеспечивает значительно большую доступность токсичных соединений в песчано-глинистых грунтах к тест-культурам.

Научная новизна работы заключается в выявлении биологически значимого влияния микробиологической составляющей грунтовой системы на высшие растения при инициации микробного сообщества в песчано-глинистых грунтах, что может привести к усилению токсического эффекта независимо от химического, минерального или гранулометрического состава субстрата, а также установлении отсутствия прямой зависимости между наличием превышений ПДК/ОДК элементов и реакцией высших растений, что свидетельствует о возможности биологически значимого загрязнения как ниже, так и выше установленных нормативов вследствие присутствия неидентифицированных соединений или синергетического взаимодействия поллютантов. Также обоснована неэффективность использования только традиционного биотестирования на основе водной вытяжки из грунта для оценки реального биологически значимого токсического эффекта в сравнении с методами аппликатного фитотестирования, предусматривающими непосредственный контакт тест-культур высших растений с поверхностью грунта.

Выводы диссертации соответствуют ее содержанию и отражают основные результаты проведенных исследований.

Автореферат диссертации содержит основные выводы исследований автора, а также необходимые сведения. Он аккуратно оформлен и достаточно иллюстрирован.

Вместе с тем, к работе имеются следующие **замечания**:

1. Из текста диссертации неясно, в скольких аналитических повторностях выполняли биотесты и каким именно способом затем осуществляли статистическую обработку результатов.

2. Рис. 34 диссертации (рис. 5 автореферата): с какой целью вытяжки референсных грунтов тестировали в серии разведений, если исходная вытяжка 1:1 обеспечила 100%-ю выживаемость дафний? Почему процент выживаемости дафний снижается при разбавлении вытяжки, не перепутаны ли «гибель» и «выживаемость» в названии оси для вариантов с разбавлением?

3. В биотестах с водорослями *Scenedesmus quadricauda* (рис.35 диссертации и 6 автореферата), что служило контролем в вариантах с референсными грунтами? И где их использовали в качестве «референсного контроля», как анонсировано в главе «Выбор объектов»?

Однако указанные замечания не умаляют значимости проведенного диссертационного исследования. 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 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель **Садов Сергей Сергеевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21. Геоэкология.

Официальный оппонент:

кандидат биологических наук,
доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории химии гумусовых веществ и минеральных соединений почв, кафедры химии почв, факультета почвоведения ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Якименко Ольга Сергеевна

«05» марта 2026 года

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 03.00.27. Почвоведение

Контактные данные:

тел.: + [redacted], e-mail: iakim@soil.msu.ru

Адрес места работы:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д.1, стр.12, факультет почвоведения

Подпись Якименко [redacted]

Нагавыкин [redacted]

Тимова А.В.