

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук Толстыгина Кирилла Дмитриевича на тему: «Структура порового пространства и её связь с гидрофизическими свойствами почв разного генезиса» по специальности 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Диссертационная работа К.Д. Толстыгина посвящена исследованию структуры порового пространства почв и её связи с гидрофизическими свойствами на основе применения современных методов анализа пористых сред. Работа представлена по специальности 4.1.5 «Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика» и по постановке цели, задач, объекту исследования и используемому методическому аппарату непосредственно относится к актуальным задачам современной агрофизики почв. Диссертация посвящена характеристике динамики порового пространства при увлажнении–иссушении, моделированию коэффициента фильтрации, основной гидрофизической характеристики и коэффициента влагопроводности с использованием корреляционных функций, поросетевых моделей и рентгеновской компьютерной томографии.

Актуальность исследований. Структура порового пространства почвы является одним из ключевых факторов, определяющих движение и аккумуляцию влаги, перенос растворённых веществ, газообмен, а также ряд функционально значимых свойств почвы. В автореферате и диссертации обоснованно подчеркивается, что традиционные подходы в физике почв нередко опираются на упрощенные представления о структуре и недостаточно учитывают её динамический характер, особенно в циклах увлажнения–иссушения. На этом фоне обращение автора к современным морфологическим и топологическим методам анализа выглядит своевременным и научно оправданным. Особенно важно, что в работе акцент сделан не только на описании структуры как таковой, но и на её функциональной интерпретации через гидрофизические свойства.

Структура и содержание работы. Диссертация состоит из введения, обзора современного состояния проблемы, главы, посвященной объектам и методам исследования, главы «Результаты и обсуждение», заключения, выводов и списка литературы. Работа изложена на 111 страницах, содержит 37 рисунков и 2 таблицы.

Список литературы включает 142 источника, в том числе 102 на иностранных языках. Такая структура представляется логичной, внутренне последовательной и соответствующей поставленным цели и задачам.

Во введении последовательно раскрыты актуальность темы, цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методологическая база, положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации результатов и публикационной активности автора. Цель работы сформулирована чётко: охарактеризовать динамику структуры порового пространства почв суглинистого гранулометрического состава при увлажнении–иссушении и установить её связь с гидрофизическими свойствами с применением современных расчетных методов исследования пористых сред. Поставленные задачи вытекают из цели и охватывают как анализ структуры, так и моделирование гидрофизических характеристик.

Первая глава содержит развернутый обзор литературы по вопросам структуры порового пространства почв, истории развития представлений о ней, методов её исследования и оценки, а также современных подходов к анализу гидрофизических свойств. Следует положительно отметить, что автор не ограничивается описанием классических представлений, а критически рассматривает их ограничения, в том числе обсуждает слабые стороны модели «капиллярных трубок» и основанных на ней подходов. В целом обзор написан содержательно и демонстрирует хорошую ориентированность автора в отечественной и зарубежной литературе. Существенным достоинством является также подчеркнутый в работе вывод о том, что базовые интегральные структурные показатели, такие как пористость или близкие к ней характеристики, не всегда позволяют различать различные состояния порового пространства, тогда как использованные автором методы дают существенно более содержательную характеристику его организации.

Во второй главе представлены объекты и методы исследования. Автор использовал классические полевые и лабораторные методы физики почв, методы рентгеновской компьютерной томографии и компьютерного моделирования. Корреляционные функции рассчитывались с использованием библиотеки `CorrelationFunctions.jl`, а поросетевые модели извлекались методом, основанным на дискретной теории Морса. Статистическая обработка данных проводилась с

помощью Python, STATISTICA и Excel. Методическая часть в целом изложена достаточно подробно, что позволяет судить о воспроизводимости исследования и добросовестности выполненной работы.

Наиболее значимые результаты представлены в третьей главе. Автор показал, что морфологические и топологические параметры изменения структуры порового пространства почв при увлажнении–иссушении могут быть полноценно охарактеризованы с использованием корреляционных функций и поросетевых моделей. В числе важных результатов следует отметить установление гистерезисного характера динамики порового пространства в циклах увлажнения–иссушения, а также выявление зависимости обратимости структурных изменений от гранулометрического состава и содержания общего углерода. Существенный интерес представляют результаты по моделированию коэффициента фильтрации и основной гидрофизической характеристики, которые демонстрируют, что поросетевые модели способны не только дополнять экспериментальные методы, но и в ряде случаев служить их содержательным развитием. При этом сам автор справедливо указывает на важную роль граничных условий при моделировании коэффициента фильтрации и на ограничения, связанные с разрешением томографических изображений при расчете гидрофизических характеристик.

Научная новизна работы. В работе впервые в рамках одного исследования реализовано совместное применение корреляционных функций и поросетевых моделей для оценки динамики структуры порового пространства почв при увлажнении–иссушении и моделирования гидрофизических свойств. Такой подход действительно расширяет инструментарий современной физики почв и позволяет перейти от малоинформативных интегральных характеристик к более глубокому морфологическому и топологическому анализу. Новизна работы также заключается в том, что автором намечено перспективное направление для более тесной связи цифрового описания порового пространства с прогнозом функциональных свойств почв в масштабе пор.

Теоретическая и практическая значимость диссертации не вызывает сомнений. Результаты исследования имеют значение для дальнейшего развития представлений о структуре порового пространства почв и её динамике. Практическая ценность работы состоит в том, что предложенные подходы могут

быть использованы для более корректного моделирования движения влаги и растворённых веществ, оценки гидрологического состояния почв и дальнейшего развития цифровых методов в агрофизике. В целом разделяю общий вывод автора о том, что новые методы моделирования в масштабе пор должны не только дополнять классические экспериментальные подходы, но в ряде случаев, особенно там, где прямой эксперимент затруднен или ограничен, становиться основой анализа. Именно поэтому развитие данного направления представляется важным и перспективным.

Степень обоснованности, достоверность результатов и личный вклад автора. Достоверность результатов обеспечивается сочетанием экспериментальных и расчетных методов, современной методической базой, продуманной постановкой задач и согласованностью выводов с полученными результатами. Основные положения диссертации были апробированы на 10 международных и всероссийских конференциях. По теме диссертации опубликованы 3 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В. Ломоносова. В автореферате специально подчеркивается, что в опубликованных в соавторстве работах основополагающий вклад принадлежит соискателю. Личный вклад автора также достаточно ясно обозначен: им выполнена основная часть теоретических и экспериментальных исследований, проведены расчеты, анализ результатов, статистическая обработка данных и подготовка публикаций.

Замечания по диссертационной работе.

Вместе с тем к рассматриваемой диссертации имеется ряд замечаний, не снижающих общего положительного впечатления о ней, а только подтверждающих сложность решаемых автором научных проблем.

1. В работе выполнен очень большой объем исследований: получены и обработаны многочисленные томографические данные, рассчитаны корреляционные функции, построены поросетевые модели, проведено моделирование гидрофизических характеристик. Однако при таком объеме исходного материала интерпретация результатов местами выглядит недостаточно глубокой. В частности, анализ корреляционных функций и поросетевых моделей во многих случаях сведен преимущественно к визуальному сопоставлению тепловых карт и отдельных параметров, тогда как из этих данных можно было извлечь более

развернутую количественную и физическую информацию о характере перестройки порового пространства при увлажнении–иссушении. Иными словами, главное замечание заключается в том, что объем проделанной работы очень велик, но аналитическая отдача от части полученных результатов раскрыта не в полной мере.

2. В разделе 3.1.4, где автор сопоставляет современные методы с классическими метриками порового пространства, критика традиционных показателей представлена убедительно, однако интерпретация полученных для этих метрик результатов могла бы быть более развернутой. Автор справедливо подчеркивает, что классические метрики, прежде всего пористость и другие скалярные показатели, обладают ограниченной информативностью для описания структуры порового пространства, и в разделе 3.1.4 специально обращается к сравнению с ними. Вместе с тем в работе приведено значительное число графиков именно для таких классических характеристик, однако обсуждение их поведения в рамках конкретного исследования носит сравнительно сжатый характер. В результате основное внимание сосредоточено на констатации ограниченной информативности этих показателей, тогда как более подробный разбор того, какие именно выводы они позволяют или не позволяют сделать для исследованных циклов увлажнения–иссушения, сделал бы данный раздел еще более содержательным.
3. На стр. 81–82 автор перечисляет причины завышения коэффициента фильтрации в поросетевых моделях по сравнению с полевым методом. Однако в этом перечне не упомянут фактор разрешения микротомографии, хотя в других разделах диссертации автор прямо указывает на его значимость. Между тем именно разрешение томографии напрямую влияет на детализацию поросетевой модели: при более высоком разрешении выявляется более сложная сеть пор и каналов, лучше фиксируются узкие перешейки, уменьшаются эффективные гидравлические радиусы, что должно сказываться на расчетных значениях коэффициента фильтрации. Поэтому в данном месте было бы полезно дополнить перечень этим фактором.
4. Автор указывает, что одной из причин расхождения между экспериментальными и расчетными значениями коэффициента фильтрации являются различия в

граничных условиях. Однако этот важный тезис в работе практически не развит. Между тем поросетевое моделирование позволяет варьировать постановку задачи и анализировать влияние направления фильтрации и принятых граничных условий на результат. Поэтому было бы полезно показать, насколько расчетные значения чувствительны к выбору этих условий, либо пояснить, почему анализ ограничен только расчетом потока вдоль оси Z .

5. Объяснение расхождений между моделированием и экспериментом через набухание почвы при инфильтрации представлено недостаточно развернуто. Автор указывает на набухание как на один из факторов, влияющих на отличие модельных и экспериментальных гидрофизических характеристик. Однако в работе имеются томографические данные для различных стадий увлажнения, включая состояния, близкие к насыщению, поэтому напрашивалось более прямое использование этих данных для обсуждения или хотя бы качественной оценки эффекта разбухания. В текущем виде этот тезис выглядит правдоподобным, но недостаточно опирается на собственный фактический материал диссертации.
6. В тексте диссертации встречаются отдельные редакционные недочеты. Имеются грамматические и пунктуационные ошибки, отдельные неточности формулировок, а также шероховатости в оформлении рисунков и подписей к ним (например, упоминание состояний «промерзания-оттаивания» в методической части (с. 50) при том, что работа посвящена циклам увлажнения–иссушения; повторы слов и отдельные неудачные формулировки (с. 65 и др.); обрезанная шкала на одном из рисунков (с. 72) и др.).

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация К.Д. Толстыгина «Структура порового пространства и её связь с гидрофизическими свойствами почв разного генезиса» вносит существенный вклад в развитие современных представлений о структуре порового пространства почв и её связи с гидрофизическими свойствами, а также в развитие методов цифрового моделирования в агрофизике. По актуальности темы, степени обоснованности положений, научных выводов и рекомендаций, их достоверности, новизне и практической значимости диссертация является завершённой научно-квалификационной работой и полностью отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова,

соответствует специальности 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (по биологическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, и оформлена 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 Толстыгин Кирилл Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика.

Официальный оппонент:

кандидат геолого-минералогических наук (25.00.06 – Литология),
старший научный сотрудник
научно-исследовательской лаборатории «Внутрипластовое горение»
Института геологии и нефтегазовых технологий
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Кадыров Раиль Илгизарович

«3» апреля 2026 г.

Контактные данные: тел.: e-mail:

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

25.00.06 – Литология (науки о Земле)

Адрес места работы: 420008, г. Казань, ул. Кремлёвская, д. 18,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Тел.: