

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук Прохорова Артема Анатольевича на тему: «Провинциальные особенности состояния органического вещества почв агроландшафтов европейской части России» по специальности 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Актуальность исследований. Органическое вещество является ключевым компонентом почвы, выступая медиатором и модулятором почвенных процессов, режимов и функций. Глобальные проблемы изменения климата, воспроизводства плодородия почв и сохранения биоразнообразия тесно связаны с почвенным органическим веществом. Даже незначительное увеличение его содержания в почве способно существенно снизить концентрацию CO₂ в атмосфере, оказывая климатосмягчающий эффект.

В составе почвенного органического вещества присутствуют элементы-органогены в ассоциации с десятками других макро- и микроэлементов, многие из которых жизненно необходимы растениям и микроорганизмам. Почвенное органическое вещество обеспечивает не только среду обитания и энергетическую базу для почвенных организмов, но и во многом определяет структуру и функциональное разнообразие микробных сообществ. Этот факт подчеркивает исключительную значимость изучения почвенного органического вещества для понимания экологии микроорганизмов и механизмов функционирования почв как сложных биокосных систем.

Показатели содержания, запасов и качественного состава почвенного органического вещества широко используются в программах мониторинга углерода в наземных экосистемах, при оценке здоровья и качества почв, а также в почвенно-агрохимическом районировании сельскохозяйственных территорий. Каждое из этих направлений имеет высокую научную и прикладную востребованность.

Вопросы биогеохимического цикла углерода во взаимосвязи с его почвенной эмиссией и депонированием, исследование механизмов преобразования, стабилизации и минерализации органического вещества, а также разработка моделей углерода, связывающих климатические, почвенные и антропогенные факторы, относятся к числу приоритетных направлений в почвоведении, экологии, агрохимии.

Почвы России обладают высоким продукционным и углеродсеквестрирующим потенциалом, что является дополнительным аргументом значимости проводимых исследований. Оптимизация почвенно-агрохимических параметров плодородия, биологизация и экологизация систем удобрений, а также использование элементов «точного» земледелия на основе ландшафтно-экологической типизации земель являются современными и перспективными направлениями развития земледелия.

Сказанное выше подчеркивает актуальность, теоретическую новизну и прикладную значимость исследований, выполненных А.А. Прохоровым, целью которых была комплексная оценка провинциальных особенностей состояния почвенного органического вещества в агроландшафтах европейской части России, выявление факторов его пространственной вариабельности и определение закономерностей накопления и потерь углерода в почвах.

Структура и содержание работы. В диссертации изложены актуальность и научное обоснование темы, сформулированы цель и задачи исследований, представлены научная новизна, защищаемые положения и практическая значимость работы. В трех главах, содержащих 19 разделов и 12 подразделов, проведен анализ литературы, описаны объекты и методы исследований, даны результаты, полученные при реализации заявленных задач и их обсуждение. Диссертация изложена на 192 страницах, содержит 5 таблиц, 47 рисунков, заключение с выводами, библиографию из 253 источников, включая 182 англоязычных, и 10 приложений с картами

микроструктур почвенного покрова и описанием морфологии почвенных профилей.

В обзоре литературы представлены современные концепции природы, состава и трансформации почвенного органического вещества, обобщены географические закономерности изменений в содержании органического вещества в почвах разных биоклиматических областей, изложены представления о лабильных и стабильных пулах почвенного органического вещества, их способах аналитического фракционирования и измерения. В двух других разделах рассмотрена проблематика выпаханности почв как формы их деградации и пространственной неоднородности и изменчивости физико-химических и биологических свойств почв. Подчеркивается необходимость перехода от разрозненных аналитических методик к комплексным, процессно-ориентированным моделям оценки почвенного органического вещества, обеспечивающим более адекватную диагностику состояния почвенных систем. Обзор литературы характеризуется высоким уровнем научной осведомленности автора и отражает современное состояние исследований в области органического вещества почв. Многие фрагменты обзора выходят за рамки традиционного перечисления литературных сведений и включают изложение авторской позиции, что усиливает позитивное впечатление от проделанной работы.

Объектами исследований стали почвы нескольких контрастных почвенно-географических провинций на территории Калужской, Воронежской, Ростовской областей, Краснодарского края и Республики Кабардино-Балкария. Такой выбор объектов обеспечил охват широкого градиента климатических условий, режимов увлажнения, степени антропогенной нагрузки и различий в рельефе, что позволяет рассматривать почвенное органическое вещество как результат взаимодействия природных и агрогенных факторов. Экспериментальная база включала как фоновые, условно-референтные, так и трансформированные участки агроландшафтов, что дает возможность проводить сравнительный анализ почвенного

органического вещества в различных режимах функционирования. Методическая основа работы характеризуется многоуровневым подходом, включающим денситометрическое и химическое фракционирование почвенного органического вещества, использование дистанционного зондирования, геоинформационного моделирования, статистических методов и машинного обучения, множественной линейной регрессии, нелинейных логистических моделей. Дополнительно применялись методы нормализации данных, корреляционного анализа и бутстреп-оценки. Используемый комплекс экспериментальных подходов и методов позволил не только описать, но и количественно реконструировать механизмы пространственной дифференциации и насыщения почв органическим углеродом.

В семи разделах главы 3 «Результаты и обсуждение» представлены агрохимические свойства основных типов почв, показана провинциальная детерминированность соотношений лабильных и стабильных компонентов в составе почвенного органического вещества. Приведены результаты исследования пространственной изменчивости распределения органического углерода в почвах, связанные с влиянием климатических факторов, рельефа и других факторов на почвенное органическое вещество. Отдельно рассмотрены закономерности изменения фракционного состава органического вещества в зависимости от условий землепользования и природно-климатических различий между провинциями. Существенное место занимает анализ сопряженности химических и физико-химических показателей почв с содержанием органического углерода и его фракций, а также интерпретация выявленных корреляционных связей. Завершающая часть диссертации посвящена моделированию процессов насыщения почв органическим углеродом, оценке предельной протекторной емкости минерально-ассоциированного пула, сравнительному анализу региональных логистических моделей накопления органического вещества, обобщающему анализу провинциальных различий механизмов стабилизации и трансформации углерода в почвах.

Основные положения диссертации изложены в шести выводах, которые конкретны, информативны, соответствуют содержанию работы и задают направления дальнейших исследований.

Научная новизна и практическая значимость. Главный научный результат исследований А.А. Прохорова заключается в установлении и количественном обосновании провинциально-обусловленных закономерностей пространственной дифференциации содержания органического вещества в почвах и нелинейного насыщения минерально-ассоциированного пула органического вещества под влиянием климато-геоморфологических факторов и типа землепользования.

К числу наиболее значимых можно отнести следующие результаты, положения и выводы.

Учет высотных отметок и крутизны склонов позволяет существенно повысить пространственную детализацию распределения осадков и суммарной солнечной радиации, что статистически значимо улучшает точность предсказаний климатических факторов.

Орографическая корректировка климатических параметров носит регионально-специфический характер и проявляет наибольшую значимость в условиях выраженного рельефа, тогда как в равнинных территориях ее вклад существенно снижается.

Содержание и структура почвенного органического вещества существенно варьируют в зависимости от климато-геоморфологических условий и типа землепользования, при этом сельскохозяйственная нагрузка на ландшафты является приоритетным фактором изменения почвенного органического вещества.

Методика определения перманганат-окисляемого органического вещества адаптирована для почвенно-агрохимических оценок.

Лабильные пулы почвенного органического вещества в виде перманганат-окисляемого и «легкой» фракции органического вещества обладают более высокой чувствительностью к изменению условий среды и

сельскохозяйственной нагрузки по сравнению с валовым содержанием, устанавливаемым по органическому углероду.

Климатические и топографические внешние факторы опосредуют внутренние химические свойства почв, включая содержание органического углерода, азота и реакцию почвенной среды.

Параметры рельефа (высота и уклон) отрицательно связаны с содержанием углерода и азота во фракциях почвенного органического вещества, что отражает деградационную роль эрозии.

Снижение содержания органического углерода в почвах агроландшафтов сопровождается разным откликом сопутствующих химических показателей почвенного плодородия, при этом «легкая» фракция органического вещества наиболее тесно сопряжена с изменением этих показателей.

Содержание подвижного калия и рН почвы относительно устойчивы к снижению органического углерода или демонстрируют противоположную динамику.

Характер отклика фракционного состава почвенного органического вещества на антропогенное воздействие носит провинциально-специфический характер, при этом «легкая» фракция выступает одним из наиболее чувствительных индикаторов деградации органического вещества.

Соотношения C:N в «легкой» и «тяжелой» фракциях отражают различия в подверженности органического вещества минерализации и стабилизации.

Диагностическая чувствительность фракций перманганат-окисляемого и «легкого» органического вещества к дегумусированию и гумусонакоплению имеет определенную специфику, сопряженную с типовыми свойствами почв: проявляясь сильнее для черноземов и слабее для серых лесных почв.

Тип землепользования, степень эрозионной и гидроморфной трансформации почвенного покрова точнее дифференцируются

совокупностью химических показателей почвы и фракционного состава почвенного органического вещества.

Зависимость содержания минерал-ассоциированного углерода, представленного «тяжелой фракцией», от «легкой» фракции носит нелинейный логистический характер, что согласуется с концепцией ограниченной емкости стабилизации углерода в почве.

Выявлены существенные провинциальные различия в потенциальной емкости почв стабилизировать секвестрированный углерод.

Научная новизна работы подтверждается следующими разработками.

Впервые реализован интегрированный подход к оценке пространственной дифференциации почвенного органического вещества, основанный на сочетании орографически скорректированных климатических данных и цифрового моделирования рельефа, что позволило повысить детализацию пространственного описания факторов формирования почвенного органического вещества и выявить их регионально-специфические зависимости.

Установлена и количественно обоснована провинциальная изменчивость состава и функциональной организации почвенного органического вещества на основе комплекса измеряемых показателей, на основании чего выделены универсальные и локально-специфические индикаторы трансформации почвенного органического вещества при смене землепользования и природно-климатических условий.

Впервые для широкого спектра почвенных провинций показано, что накопление минерал-ассоциированного органического вещества подчиняется нелинейному насыщению, параметры которого варьируют в зависимости от климато-геоморфологических условий и агроэкологической нагрузки, что расширяет представления о предельной углерод-протекторной емкости почв.

Материалы диссертации имеют конкретную практическую направленность и могут быть использованы в почвоведении, агроэкологии,

климатическом моделировании и системах управления земельными ресурсами.

Результаты исследований могут быть реализованы в виде методических рекомендаций по мониторингу состояния почв, нормативных документов по агроэкологической оценке земель, цифровых алгоритмов моделей углеродного баланса в агроэкосистемах.

Показатели содержания перманганат-окисляемого органического вещества, дискретных органических частиц и соотношения углерода к азоту в «легких» и «тяжелых» фракциях почвенного органического вещества могут применяться как индикаторы качества и здоровья почвы. Пропись методики определения перманганат-окисляемого органического вещества, модифицированная А.А. Прохоровым, используется при исследовании почвенного органического вещества в Институте физико-химических и биологических проблем почвоведения имени В.А. Ковды Российской академии наук.

Полученные результаты позволяют уточнять границы агроэкологических зон в виде обновленных карт почвенно-агрохимического районирования и цифровых атласов земельных ресурсов.

В научно-методическом плане результаты могут быть использованы при разработке новых подходов к моделированию почвенных процессов, учебных курсов по геоинформационному моделированию, агропочвоведению и цифровому земледелию, а также при создании программных модулей для анализа пространственной вариабельности почвенных свойств.

Обоснованность положений, степень завершенности работы и характеристика личного вклада. Работа А.А. Прохорова является завершенной и методически целостной. Экспериментальная содержательность работы определяется сочетанием полевых и лабораторных данных с крупномасштабным пространственным анализом, а также применением численного моделирования для реконструкции факторов

формирования и трансформации почвенного органического вещества в различных природно-климатических провинциях. Оригинальность работы по сравнению с существующими исследованиями заключается в совокупности методических, концептуальных и интеграционных решений, которые в таком сочетании ранее практически не применялись. Работа носит выраженно модельный и интерпретационный характер. Большинство положений и выводов опирается на регрессионные зависимости и логистические аппроксимации, делая их не просто описательными, а ориентированными на практическое применение.

Обсуждение результатов проведено в сравнении с литературными данными, опубликованными в последние два десятилетия, что свидетельствует о современности и своевременности выполненной работы. Личный вклад автора заключается в проведении полевых работ, в сборе и обработке исходных данных, проведении расчетов и моделировании, создании картографических материалов, в интерпретации результатов моделирования, опубликовании материалов по теме диссертации. Все заявленные задачи полностью раскрыты. Диссертационная работа хорошо иллюстрирована, изложена в строгом научном стиле. Результаты исследований А.А. Прохорова изложены в 20 публикациях, включая 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья, индексируемая в базе данных Scopus. Автореферат полностью соответствует диссертации и отражает ее основные положения.

Замечания по содержанию и оформлению работы. При общей высокой оценке работы А.А. Прохорова имеется несколько пожеланий и замечаний:

1. Систему показателей состояния почвенного органического вещества следует дополнить параметрами, характеризующими биологическую составляющую преобразования органического углерода в почве, как, например, определение потенциально-минерализуемого органического вещества и микробной биомассы.

2. При моделировании провинциальных неоднородностей накопления почвенного органического вещества наряду с климатическими, орографическими и почвенными параметрами следует привлечь данные по биопродуктивности агрофитоценозов и количеству поступающих в почву растительных остатков.

3. Диагностическая универсальность показателей перманганат-окисляемого и «легкого» органического вещества выглядит переоцененной, поскольку их информативность ограничена генетическими свойствами почв.

4. Перманганат-окисляемый углерод – это химически окисляемый, а не биологически активный пул, однако в работе он зачастую трактуется как функционально «активный углерод».

Высказанные замечания имеют частный характер и не снижают качества представленной диссертации.

Заключение. Диссертация Прохорова Артема Анатольевича «Провинциальные особенности состояния органического вещества почв агроландшафтов европейской части России» является современным научным исследованием, вносит существенный вклад в развитие теоретических и прикладных аспектов агропочвоведения и агрохимии, характеризуется высоким уровнем проработки и значительным потенциалом для развития концепции пространственно-структурной организации почвенного органического вещества в условиях антропогенной трансформации ландшафтов. По актуальности темы, степени обоснованности положений, научных выводов и рекомендаций, их достоверности, новизне и практической значимости является завершенной работой и полностью отвечает всем требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Прохоров Артем Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений.

Официальный оппонент:

доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения имени В.А. Ковды Российской академии наук - обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Пущинский научный центр биологических исследований Российской академии наук»

Семенов Вячеслав Михайлович

12 мая 2026 г.

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 06.01.04 Агрохимия

Контактные данные: тел. +7-916-7509309, e-mail: v.m.semenov@mail.ru

Адрес места работы:

142290, Московская область, г. Пущино, Институтская ул., д. 2/2,

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения имени В.А. Ковды РАН

