В диссертационный совет ПДС 2021.002
Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Доктора биологических наук, доцента, ведущего научного сотрудника лаборатории эволюционной биогеохимии и геоэкологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции «Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского Российской академии наук» Козлова Андрея Владимировича на диссертацию Гукалова Виктора Владимировича на тему «Диагностика направленности изменений свойств почв и управление плодородием на основе окислительно-восстановительного состояния основных типов почв Европейской части России», представленной к защите на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук по специальности 4.1.3 – Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений.

Актуальность исследования

В связи с реализацией Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства до 2030 года, разработкой в 2026 году программы повышения плодородия почв Российской Федерации для агропромышленного комплекса страны существенно значимым становится учет всей совокупности факторов, определяющих почвенное плодородие. Данному направлению и посвящено настоящее диссертационное исследование, центральное место в котором занимает диагностика направленности изменений свойств почв и управление плодородием на основе их окислительно-восстановительного состояния. Среди всех многочисленных факторов важное значение здесь имеют параметры окислительно-восстановительного состояния (Eh) и сопряженного с ним кислотно-основного равновесия (pH). Это связано с тем, что величина их и знак существенно влияют на то, в каких формах находятся химические элементы, комплексные соединения, катионы и анионы, а также какова степень доступности питательных веществ растениям. В условиях повышенной кислотности возрастает подвижность и массоперенос алюминия (Al^{3+}), железа (Fe^{3+}), марганца (Mn^{2+}), меди (Cu^{2+}), цинка (Zn^{2+}), кобальта (Co^{2+}). А повышенная подвижность алюминия и марганца часто приводит к их токсичному действию на растения. Щелочная среда

влияет на общее равновесие ионного обмена, растворимость многих соединений, например, солей фосфора.

Следовательно, диагностика и определение оптимальных характеристик окислительно-восстановительного и кислотно-основного состояния почв позволит управлять продукционным процессом агроэкосистемы при сохранении и улучшении почвенного плодородия. Фактически параметры кислотно-основного и редокс-состояния проявляют себя как индикаторы качества почвы, а с использованием искусственного интеллекта появляется возможность оперативного реагирования для быстрой оптимизации параметров.

Почва представляет собой открытую динамически равновесную многокомпонентную систему, функционирование которой подчинено совокупности взаимосвязанных биогеохимических процессов. На окислительно-восстановительное и кислотно-основное состояние почв существенное влияние оказывают водный режим, температура, микробиологическая активность, применение разных форм и доз органических и минеральных удобрений и мелиорантов, а также антропогенное воздействие. Исследование указанных параметров позволяет раскрыть характер взаимосвязей в почвенной системе: изменение одного из факторов способно запустить каскад сопряженных реакций, одновременно трансформирующих величины Eh и pH, а также подвижность химических элементов и их соединений. Практическая реализация подходов, рассмотренных автором, позволяет оптимизировать элементы агротехнологий, создать методологическую основу точного земледелия, обеспечить повышение урожайности сельскохозяйственных культур, сокращение потерь основной и побочной продукции, а также снизить общую экологическую нагрузку на агроландшафты.

Перспективным направлением, обоснованным автором, является разработка интегральных оценок, учитывающих не только абсолютные значения окислительно-восстановительного потенциала и кислотно-основного состояния почвы, но и кинетику протекающих в ней процессов, а также оценить буферную емкость почв и их сорбционную способность по отношению к различным химическим соединениям.

Таким образом, актуальность диссертационного исследования не вызывает сомнений как в научном, так и в прикладном отношении.

Научная новизна исследования

Впервые автором разработана комплексная система диагностики кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв, объединяющая информационную и энергетическую оценку, а также оригинальный методический инструментарий.

Информационная составляющая разработанной системы заключается в количественном описании математических зависимостей между показателями pH и Eh, комплексом почвенных свойств и закономерностями их пространственно-временной изменчивости. Для основных типов почв определены характеристические значения данных показателей, применимые в качестве диагностических критериев.

Энергетическая составляющая оценки базируется на термодинамических характеристиках протекающих реакций, а также на показателях биопродуктивности растений и микроорганизмов, пересчитанных в кДж/га. Такой подход позволяет оценивать состояние почв не только через традиционные физико-химические параметры, но и через энергетический потенциал почвенно-растительной системы.

Методическую основу системы составляет экспериментально апробированный комплекс методов, охватывающий:

- количественную оценку фактора кинетики;
- определение депонирующей способности почв;
- количественное определение положительно и отрицательно заряженных соединений почв;
- измерение суспензионного эффекта;
- установление буферности почв по отношению к H^+;
- определение буферной емкости почв по отношению к H^+;
- определение содержания оксидантов и антиоксидантов;
- регистрацию содержания положительно и отрицательно заряженных аэроионов.

На основании экспериментальных материалов доказано, что оптимумы кислотно-основного и ОВ-состояния почв дифференцированы и варьируют: в зависимости от климатических условий, в том числе критических фаз онтогенеза растений; от сочетания почвенных свойств; применительно к почвам и растениям; в зависимости от приуроченности почв к различным элементам

рельефа; применительно к отдельным генетическим горизонтам почвенного профиля.

Показано, что оптимумы кислотно-основного и ОВ-состояния, обеспечивающие прогрессивную эволюцию почвенного покрова и рост урожайности сельскохозяйственных культур, поддаются количественному описанию в виде математических зависимостей.

Теоретическая и практическая ценность работы обусловлена созданием научно обоснованной системы диагностики динамики почвенных свойств и управления плодородием. В ее основу положен комплекс инновационных приемов целенаправленного регулирования окислительно-восстановительного и кислотно-основного состояния почв. К числу таких приемов относятся:

- использование специализированных регуляторов ОВ-состояния как в почвенной среде, так и в системе «почва – растение»;
- применение комплексонов на базе органических лигандов, характеризующихся заданной константой устойчивости образуемых комплексов с катионами различной валентности (двух-, трех- и многовалентными);
- вовлечение в агротехнологический цикл гуматов, полученных из агроцеллюлозы;
- учет и целенаправленное использование физиологических эффектов синергизма (усиление поглощения корнями катионов и анионов) и антагонизма (ограничение поглощения ионов одинакового знака заряда) при минеральном питании растений;
- оптимизация комплекса почвенных характеристик путем внесения биофильных элементов и проведения некорневых подкормок в условиях неблагоприятных кислотно-основных и ОВ-режимов;
- управление интенсивностью ключевых почвообразовательных процессов (дернового процесса и оглеения) посредством целенаправленного применения агротехнических мероприятий.

Существенным теоретическим вкладом является предложенный автором подход к оценке трансформации почвенных свойств под влиянием ОВ и кислотно-основного режимов. Он базируется на системном анализе прямых и обратных связей в контуре «свойства почв – окислительно-

восстановительный режим» и реализуется с помощью разработанных регрессионных уравнений, формализующих выявленные закономерности.

Практическая результативность предложенных решений подтверждена данными многолетних полевых экспериментов, проведенных на дерново-подзолистых почвах и обыкновенных черноземах Краснодарского края и подтверждают перспективность широкого внедрения разработанных приемов в практику земледелия. В частности, доказана эффективность применения органических удобрений с повышенной комплексообразующей способностью: в условиях Краснодарского края это позволило достичь урожайности пшеницы на уровне 90 ц/га, а в Московской области – 50 ц/га.

Структура и основное содержание работы

Диссертация изложена на 393 страницах, состоит из введения и основной части; содержит 28 рисунков и 93 таблицы; включает заключение и список литературы, насчитывающий 601 наименование, в том числе 31 – на иностранном языке.

Во вводной части работы автором проведен комплексный анализ проблематики: аргументирована актуальность избранной темы, дана оценка степени ее научной разработанности. Четко сформулированы цель и задачи исследования, а также положения, выносимые на защиту. Детально раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, охарактеризован личный вклад соискателя; дополнительно представлены сведения об апробации полученных результатов.

Первая глава представляет собой аналитический обзор научной литературы и посвящена систематизации сведений об окислительно-восстановительных и кислотно-основных характеристиках почв. В ней рассмотрены причины подкисления почв; свойства, процессы и режимы кислотно-основного состояния; особенности протекания процессов в кислых почвах; механизмы поддержания кислотно-основных режимов; депонирующая способность почв в отношении ионов H^+ и катионов, определяющих кислотно-основное равновесие; буферные свойства почв к подкислению; прогнозные модели изменения почвенных свойств при варьировании значений pH и Eh; оптимальные диапазоны кислотно-основного состояния почв; методики расчета доз известковых материалов. Отдельное внимание уделено агроэкологической оценке окислительно-восстановительного состояния почв. За-

вершается обзор литературы обоснованной постановкой задач собственного исследования, логически вытекающих из выявленных пробелов и противоречий в существующих научных представлениях.

Во второй главе представлена характеристика объектов исследования и условий проведения экспериментальных работ. Подробно изложены методики изучения физических, физико-химических свойств и химического состава почв. Приведены данные об используемом аналитическом оборудовании, а также о нормативных документах – государственных и отраслевых стандартах, регламентирующих применяемые процедуры. Кроме того, в главе описаны оригинальные методические подходы, разработанные автором в рамках диссертационной работы.

Главы 3, 4, 5 содержат результаты экспериментальных исследований автора, посвященных анализу кислотно-основного и окислительно-восстановительного равновесия в почвах, а также протекающих в них процессов. В рамках этих исследований выполнен детальный анализ фракционного состава кислотно-основных систем. Проведена количественная оценка кинетики кислотно-основных реакций и депонирующей способности почв в условиях кислотно-основного равновесия. Установлены закономерности изменения суспензионного эффекта в зависимости от величины pH, а также дана характеристика буферной емкости почв в различных интервалах кислотности.

Особое внимание уделено изучению динамики массопереноса удобрений в почвенной толще. Проанализировано влияние этого процесса на кислотно-основное состояние в разных пространственных масштабах – в пределах ландшафта, катены, по генетическим горизонтам почвенного профиля, а также в отдельных гранях и слоях структурных отдельностей. Исследованы изменения почвенных свойств при циклическом чередовании режимов увлажнения. Кроме того, в главах рассмотрены характеристики почвенных газов, а также трансформации кислотно-основного состояния под воздействием растительного покрова и водорастворимых продуктов, образующихся при миграции и разложении растительных остатков.

Главы 6-7 содержат результаты экспериментальной работы по интегральной оценке окислительно-восстановительного состояния почв. В них представлены данные по окислительно-восстановительной буферной емко-

сти, кинетике ОВ-реакций и совокупности протекающих в почвах окислительно-восстановительных процессов. Проанализирована динамика изменения ОВ-состояния под действием различных факторов, в том числе в прикорневой зоне растений. Исследована зависимость подвижности биофильных элементов и токсикантов от величины Eh среды.

В работе раскрыты взаимосвязи окислительно-восстановительного состояния с рядом ключевых характеристик почв – их структурой, гумусовым состоянием, а также процессами миграции и трансформации ионных соединений. Дана оценка трансформации ОВ-параметров при развитии неблагоприятных процессов (оглеение), а также при формировании генетически значимых почвообразовательных явлений – подзолообразовательного и дернового процессов. Особое значение имеют данные об изменении ОВ-состояния в катене и по горизонтам почвенного профиля: они существенно дополняют представления о пространственной организации редокс-процессов и имеют принципиальную значимость для решения фундаментальных и прикладных задач агропочвоведения.

В восьмой главе представлена комплексная оценка кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния в системе «почва – растение», включающая информационно-энергетический и интегральный подходы. В ходе анализа установлена зависимость содержания подвижных и водорастворимых ионных соединений от значений pH и Eh среды. Также исследовано влияние этих параметров на концентрацию заряженных частиц в почвенной матрице. Энергетическая составляющая оценки реализована посредством анализа данных, полученных методом газоразрядной визуализации, что позволило количественно охарактеризовать энергетические параметры кислотно-основного и ОВ-состояния почв. Особую значимость имеет совокупная оценка – информационная, интегральная, агроэкологическая и экономическая. Данный подход служит инструментом обоснования оптимальных параметров почвенного состояния, напрямую коррелирующих с формированием высококачественного урожая сельскохозяйственных культур.

В девятой главе систематизированы приемы целенаправленного регулирования кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв. Представлена оценка эффективности известкования с применением

методов, построенных на принципах обратной связи. Рассмотрены подходы к оптимизации кислотно-основного режима за счет использования органических удобрений. Детально проанализировано влияние влажности и степени гидроморфности почв на результативность известкования, в том числе с учетом развития анаэробных условий в почвенном профиле.

Описаны технологические решения, направленные на повышение эффективности известкования: в частности, обоснована целесообразность совместного внесения $CaCO_3$ и органических соединений, обладающих комплексообразующей способностью. Кроме того, раскрыт потенциал управления почвообразовательными процессами: показана возможность повышения эффективности известкования за счет интенсификации дернового процесса и одновременного снижения интенсивности оподзоливания и оглеения – что позволяет формировать более устойчивые и продуктивные почвенные системы.

В заключительной части работы обобщены результаты исследований, сформулированы основные выводы и практические рекомендации для сельскохозяйственного производства.

Автором предложена комплексная система оценки кислотно-основного и окислительно-восстановительного (ОВ) состояния почв. Она объединяет статические показатели (pH, Eh, содержание органического вещества, катионно-обменную емкость) и динамические параметры – кинетику изменений pH и Eh при заданных температуре и влажности, буферные характеристики (в том числе ОВ-буферную емкость), а также показатели зарядового состояния среды (соотношение оксидантов и антиоксидантов, содержание заряженных соединений и аэроионов). Такой подход позволяет не только фиксировать текущее состояние почв, но и оценивать их реакционную способность и устойчивость к внешним воздействиям.

Для анализа взаимосвязей между параметрами используются математические модели; для визуализации многомерных зависимостей рекомендованы трехмерные графические модели, учитывающие совместное влияние pH, Eh и дополнительного фактора (например, влажности или температуры).

Практические рекомендации ориентированы на технологическую реализуемость и адаптацию к реальным условиям сельхозпроизводства:

- регулирование ОВ-состояния с помощью специализированных регуляторов и комплексонов органических лигандов для контролируемой мобилизации или иммобилизации катионов;
- применение гуматов из отходов сельхозпроизводства с заданными функциональными свойствами как экономически и экологически обоснованного решения;
- оптимизация минерального питания за счет внесения биофильных элементов и некорневых подкормок с учетом эффектов синергизма и антагонизма при поглощении ионов;
- управление почвообразовательными процессами (дерновым процессом, оглеением) посредством агротехнических приемов, адаптированных к типу почвы, рельефу и водному режиму.

Эффективность рекомендаций подтверждена полевыми опытами: применение органических удобрений с высокой комплексообразующей способностью обеспечило урожайность пшеницы 90 ц/га в Краснодарском крае и 50 ц/га в Московской области. Методы и рекомендации внедрены в практику ряда сельхозпредприятий и в систему агрохимического мониторинга – это позволило повысить точность планирования мелиоративных и удобрительных мероприятий, сократить затраты и снизить экологическую нагрузку на агроландшафты.

С научной точки зрения диссертационная работа развивает представления о редокс-регуляции почвенных процессов и расширяет методологическую базу агропочвоведения и агрохимии. Практическая ценность работы заключается в возможности своевременной диагностики неблагоприятных тенденций и принятия обоснованных управленческих решений в агротехнологиях. Результаты применимы при разработке региональных систем земледелия, составлении электронных почвенных карт, планировании дифференцированного внесения мелиорантов и удобрений, а также в образовательных программах по почвоведению, агрохимии и точному земледелию.

Публикации

По материалам диссертационной работы опубликовано 78 научных трудов, в том числе: 25 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ по научной специальности, 22 статьи в других журналах из перечня ВАК, 9 статей в изданиях, индексируемых в РИНЦ, 18 статей в материалах конференций и

4 монографии. Основные результаты диссертации в достаточном объеме опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях.

Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационного исследования, его актуальность, новизну и значимость полученных результатов. Сформулированные в автореферате положения отражают целостность и завершенность проведенного исследования.

Вопросы и замечания по работе

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Обыкновенные черноземы Краснодарского края характеризуются высокой карбонатностью и мощным гумусовым горизонтом, а значительная их часть вовлечена в орошаемое земледелие, что сопряжено с риском подщелачивания и осолонцевания. Необходимо уточнить, каким образом в предложенные модели оптимальных значений pH и Eh включена щелочная ветвь оптимума и учитываются ли различия между богарными и орошаемыми черноземами региона?
2. Показатели базального (БД) и субстрат-индуцированного (СИД) микробного дыхания почвы, а также почвенной микробиомассы (МБ) и микробно-метаболического коэффициента (qCO_2), безусловно, являются критериями, позволяющими оценить общую активность биохимических процессов, происходящих в веществе почвы при доминирующем в них участии почвообитающей микробиоты. Однако, за счет своего интегрального характера, только на основе данных критериев невозможно дать качественную оценку состояния самого микробного пула почвы, а также выявить количественные изменения в его составе под влиянием изучаемых Вами факторов. В связи с этим поясните, какие группы микроорганизмов, например, филогенетические, физиологические и/или эколого-трофические, в совокупности определяют ту микробиологическую активность почвы, которая изучена в работе применительно к объектам и предмету Ваших исследований.
3. Пятая задача исследования, содержащая изучение перспективности характеристик свойств, процессов и режимов кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния в системе «почва-растение-микроорганизмы», в отношении почвенного микробиома раскрыта в не-

достаточной степени в работе. При этом выводы по диссертации и вовсе не содержат данной информации. То же самое касается и положений, выносимых на защиту, в которых указывается на микробиологическую активность, но не показаны ее изучаемые свойства и сопровождаемые ею почвенные процессы. В связи с чем требуется подробное пояснение о выявленных характеристиках и изученном системном функционале почвенной микробиоты в заявленной системе «почва-растение-микроорганизмы», а также о перспективности их использования применительно к предмету и объектам Вашего исследования.

4. Положения, выносимые на защиту (2, 3, 4 и 5), не содержат исчерпывающих формулировок научных закономерностей, которые были установлены диссертантом в работе. В связи с чем требуется определение сути целесообразности проведения энергетической и информационной оценки кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв (положения 2 и 3), описание сути проявления процессов синергизма и антагонизма взаимовлияния pH и Eh на свойства почв в разных их интервалах (положение 4), а также характеристика сути последовательного влияния pH, Eh и свойств, с ними взаимосвязанных, на свойства, процессы и режимы почв (положение 5).

Высказанные вопросы и замечания носят рекомендательный и уточняющий характер, не затрагивают концептуальных положений и итоговых выводов диссертационного исследования, а также не снижают его научной и практической значимости.

Заключение:

Диссертационное исследование Гукалова Виктора Владимировича на тему «Диагностика направленности изменений свойств почв и управление плодородием на основе окислительно-восстановительного состояния основных типов почв Европейской части России» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной проблемы диагностики направленности изменений свойств почв Европейской части России на основе окислительно-восстановительного состояния и управление плодородием, имеющей важное значение для агропромышленного комплекса Российской Федерации.

Диссертационное исследование в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук, согласно п. 2.1 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного Ученым советом РУДН 22 января 2024 г., протокол № УС-1, а ее автор Гукалов Виктор Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора сельскохозяйственных наук по специальности 4.1.3 – Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений.

Официальный оппонент:
доктор биологических наук,
доцент Козлов Андрей Владимирович

«16» ноября 2026 г.



Козлов Андрей Владимирович, докт. биол. наук (03.02.13 – Почвоведение), доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории эволюционной биогеохимии и геоэкологии ФБГУН Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции «Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского Российской академии наук» (ГЕОХИ РАН)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции «Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского Российской академии наук» (ГЕОХИ РАН)
Почтовый адрес: 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д. 19.
Телефон: +7(499)137-14-84, факс: +7(495)938-20-54.
Электронная почта: director@geokhi.ru