

ГУКАЛОВ ВИКТОР ВЛАДИМИРОВИЧ

**ДИАГНОСТИКА НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ СВОЙСТВ ПОЧВ
И УПРАВЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЕМ НА ОСНОВЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-
ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ
ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

Специальность: 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин
растений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук

Москва – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко»

- Научный консультант:** **Белопухов Сергей Леонидович**,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры химии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»
- Официальные оппоненты:** **Подколзин Олег Анатольевич**,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор Краснодарского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба»
Титова Вера Ивановна,
доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет имени Л.Я. Флорентьева»
Козлов Андрей Владимирович,
доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории эволюционной биогеохимии и геоэкологии, ФБГУН «Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского Российской академии наук»
- Ведущая организация:** ФБГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Защита диссертации состоится «09» декабря 2026 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета ПДС 2021.002 при ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) по адресу 117198, ул. Миклухо Маклая, д. 8 корп.2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке в УНИБЦ (Научной библиотеке) ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) по адресу: 117198 ул. Миклухо-Маклая, д. 6, и на сайте: <https://www.rudn.ru/science/dissovet>.

Автореферат разослан «____» ____ 2026 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат сельскохозяйственных наук

Е.В. Романова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Диагностика направленности изменений свойств почв и управление плодородием необходимо рассматривать на основе изменения физико-химических характеристик основных типов почв. Для почв Европейской части России кислотно-основное и окислительно-восстановительное состояние почв определяют их агроэкологическое состояние и урожай сельскохозяйственных культур. Значительные площади пахотных земель России характеризуются кислой реакцией и требуют известкования, очень много почв, характеризующихся избыточным увлажнением и оглеением. Уточнение процессов, протекающих в этих почвах, оценка взаимосвязей их свойств, поиск новых методов их характеристики и новых способов оптимизации являются важными народнохозяйственными проблемами.

В работе предлагается оценка динамики кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв с учетом взаимосвязей свойств, протекающих процессов и режимов. Показана информативность оценки фракционного состава кислотно-основных систем, кинетики протекающих процессов, суспензионного эффекта, буферной емкости в разных интервалах pH, депонирующей способности почв к ионам, определяющим их кислотно-основное состояние.

Предлагается оценка оптимальных показателей кислотно-основного состояния почв с использованием принципов обратной связи: введение элементов в суспензию почв – анализ ответной реакции растений, развивающихся на этой суспензии, по параметрам фотосинтеза – поиск экстремума.

Показано, что изменение кислотности почв в значительной степени обусловлено процессами комплексообразования, эффектами протонирования и гидратообразования комплексов органических лигандов и поливалентных катионов. Показана целесообразность использования водорастворимых органических веществ разлагающихся растительных остатков для повышения растворимости CaCO_3 и целенаправленного изменения констант обмена H^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} из ППК на ион Ca^{2+} .

Показано, что усиление дернового процесса почвообразования приводит к подтягиванию в $A_{\text{п}}$ почв Ca, Mg, K и переходу их из необменного состояния в обменное, что позволяет увеличить сроки между повторными турами известкования дерново-подзолистых почв.

Степень разработанности темы.

Исследованию кислотно-основного состояния почв посвящено значительное количество фундаментальных исследований (Авдонин Н.С., Благовидов Н.Л., Аканова Н.И., Аристархов А.Н., Аскинази Д.Л., Воробьева Л.А., Гедройц К.К., Голубев Б.А., Гордеев А.М., Гринченко Т.А., Карпинский Н.Л., Кедров-Зихман О.К., Лебедева Л.А., Небольсин А.Н., Окорков В.В., Орлов Д.С., Подколзин О.А., Ремезов Н.П., Соколова Т.А., Стекольников К.Е., Сычев В.Г., Толпешта И.И., Шильников Н.А., Шеуджен А.Х.). Однако не учитываются факторы, обуславливающие растворимость CaCO_3 и обмен Ca на H^+ в ППК, скорость процессов, депонирующую способность почв к катионам, определяющим кислотно-основное равновесие и ряд других свойств почв, определяющих кислотно-основные процессы и режимы в почвах.

Изучению окислительно-восстановительного (ОВ) состояния почв посвящено значительно меньше исследований (Алешин С.Н., Водяницкий Ю.Н., Воробьева Л.А., Гречин И.П., Зайдельман Ф.Р., Кауричев И.С., Костенков Н.М., Неунылов Б.А., Никольский Б.Н., Орлов Д.С., Пивоваров Л.П., Сердобольский И.П., Стекольников К.Е. и другие).

При этом недостаточно разработаны вопросы агроэкологической оценки окислительно-восстановительного (ОВ) состояния почв, не учитывается влияние процессов комплексообразования, скорость этих процессов на ОВ состояния почв, не разработаны регуляторы ОВ состояния почв. Недостаточно широко используются методы исследования ОВ состояния, принятые в электрохимии, не установлены взаимосвязи рН и Eh, Eh и содержания подвижных элементов в почвах.

В целом отсутствует интегральная оценка кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв.

Целью исследования являлась разработка интегральной оценки кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв в системе почва – растение – микроорганизмы для разных типов почв Европейской части России.

В задачи исследования входило:

- оценка перспективности использования для диагностики направленности изменений свойств почв и управления плодородием, агроэкологической оценки почв кинетики кислотно-основных и окислительно-восстановительных процессов, депонирующей способности почв, буферности и буферной емкости, фракционного состава соединений, определяющих процессы почвообразования и плодородия;
- агроэкологическая оценка взаимосвязей рН, Eh, агрохимических и физико-химических свойств различных типов почв;
- оценка перспективности информационной и энергетической характеристики изучаемых процессов;
- перспективность характеристик свойств, процессов и режимов кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния в системе почва-растение-микроорганизмы;
- приемы оптимизации кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния различных типов почв.

Научная новизна.

Впервые дана информационная оценка кислотно-основного и окислительно-восстановительного (ОВ) состояния почв, заключающаяся в установлении математических взаимосвязей рН, Eh и свойств почв, их изменения во времени и в пространстве, в т.ч. $\Delta X/(\Delta Eh, \Delta pH)$; $\Delta Eh/(\Delta t^0, \Delta W)$; $\Delta pH/\Delta t^0, \Delta W$; $\Delta Eh/\Delta pH$, где ΔX -заданный показатель ΔW -влажность ΔEh -потенциал, ΔpH . Установлены характеристические значения этих показателей для разных почв. Предлагается энергетическая оценка кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв с использованием тепловых эффектов реакций, метода газоразрядной визуализации, по биопродуктивности растений, микроорганизмов в кДж/га.

Предлагаются новые методы оценки кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв: 1) оценка фактора кинетики; 2) оценка депонирующей способности; 3) оценка положительно и отрицательно заряженных соединений почв; 4) оценка суспензионного эффекта; 5) оценка буферности почв к H^+ , pH; 6) оценка буферной емкости почв к H^+ , pH; 7) оценка содержания оксидантов и антиоксидантов; 8) оценка содержания положительно и отрицательно заряженных аэроионов.

Доказывается, что оптимумы кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв различаются: в зависимости от климатических условий, в т.ч. в критические фазы развития; в зависимости от сочетания свойств почв; для почв и для растений; для почв на разных элементах рельефа; для разных горизонтов.

Оптимумы для прогрессивной эволюции почв и повышения урожая сельскохозяйственных культур характеризуются зависимостью:

$$Opt = \sum K_i X_i^n, \text{ где}$$

K_i – степень влияния свойства почв на оптимум; X_i – свойство почв, растений; n – показатель, характеризующий экспоненциальную зависимость; opt – pH, Eh, других свойств почв.

Для поиска путей оптимизации системы почва-растение предлагается использовать системы обратной связи: введение элементов в почву – идентификация ответной реакции почв и растений – поиск экстремума.

Предлагаются следующие методы, основанные на системе обратной связи: введение элементов (изменение pH, Eh) суспензии почв – анализ ответной реакции растений, развивающихся на этой почве, по параметрам фотосинтеза; электрофоретическое введение элементов в почву, в листья – анализ изменения соотношения в них $\pm$ заряженных соединений; изменение pH, Eh почв – анализ изменения подвижности в них элементов питания, микробиологической активности.

Теоретическая и практическая значимость работы. Предлагается диагностика направленности изменений свойств почв и управление плодородием с использованием новых способов регулирования кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв: 1) применение регуляторов ОВ состояния почв; 2) применение регуляторов ОВ состояния растений; 3) применение комплексонов с заданной константой устойчивости комплексонов органических лигандов с Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{n+} , Mn^{2+} , Al^{3+} ; 4) применение гуматов из отходов сельскохозяйственного производства с заданными свойствами; 5) использование синергизма поглощения корнями катионов и анионов и антагонизма поглощения корнями ионов одного знака заряда; 6) оптимизация других свойств почв за счет внесения биофильных элементов с подкормкой при неблагоприятных кислотно-основных и окислительно-восстановительных условиях; 7) регулирование скорости и интенсивности дернового процесса почвообразования и оглеения за счет агротехнических приемов.

При оценке изменения свойств почв под влиянием их кислотно-основного и ОВ состояния предлагается одновременно учитывать и их влияние на свойства почв, где K_1 и K_2 – значимость каждого коэффициента $\Delta X = f(K_1 pH + K_2 Eh)$ с

использованием уравнений регрессии, коэффициентов парной корреляции, 3-координатных графиков.

С использованием экспериментальных данных длительных опытов на дерново-подзолистых почвах и обыкновенных черноземах Краснодарского края показана перспективность использования для повышения урожая сельскохозяйственных культур органических удобрений с большой комплексобразующей способностью, позволивших получить в Краснодарском крае урожай пшеницы 90 ц/га, в Московской области – 50 ц/га.

Методология и методы исследования. В работе использован сравнительно-географический метод исследования, проведены полевые изыскания, поставлены модельные и длительные полевые опыты. Использована традиционная методология научных исследований в области почвоведения, агрохимии, экологии. Анализы проведены по методикам в соответствии с ГОСТ. Для углубленной оценки свойств почв определено содержание в них положительно и отрицательно заряженных комплексных соединений, аэроионов, оксидантов и антиоксидантов, окисленных и восстановленных веществ методами потенциостатической кулонометрии, методом газоразрядной визуализации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Кисотно-основное и окислительно-восстановительное состояние системы почва-растение являются интегральными показателями, характеризующими и определяющими состояние и развитие почв. Предлагается система методов, дополняющих характеристику их свойств, процессов и режимов.
2. Обосновывается целесообразность энергетической оценки кисотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв.
3. Обосновывается целесообразность информационной оценки кисलों-основного и окислительно-восстановительного состояния почв.
4. Установлено проявление процессов синергизма и антагонизма взаимовлияния pH и Eh на свойства почв в разных их интервалах.
5. Установлено последовательное влияние pH, Eh и свойств, с ними взаимосвязанных, на свойства, процессы и режимы почв.
6. Предлагается оценка оптимальных свойств почв для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур с учетом сорбционных свойств корневых систем с использованием принципов обратной связи по параметрам фотосинтеза.
7. Показана необходимость оптимизации минерального питания растений, структуры почв, водно-воздушного режима почв, севооборотов. Показана целесообразность создания и применения комплексных соединений, биофильных элементов с органическими лигандами для повышения энергетической эффективности систем земледелия, необходимость учета проявления эффектов синергизма и антагонизма при поглощении элементов питания растениями. В производственных условиях и в многолетних опытах получен урожай зерна кукурузы на уровне 95 ц/га, зерна пшеницы – до 60 ц/га.
8. Установлено проявление «закона убывающей отдачи» не только по снижению роста урожайности на 1 ц дополнительно вносимых удобрений, но и по

снижению эффекта повышения плодородия при увеличении доз NPK, по изменению биохимического состава продукции на 1 ц внесенных удобрений, по уменьшению энергетических параметров почв и урожая на 1 ц внесенных удобрений при неоправданном росте их доз. Показано, что для уменьшения проявления закона убывающей отдачи необходима оптимизация всех звеньев систем земледелия, в т.ч. оптимизация питательного режима и водно-физических свойств почв, воздушного режима и микробиологической активности.

Степень достоверности и апробация результатов. Материалы всех исследований обработаны методами вариационной статистики. Принятый уровень вероятности $P = 0,95$. Вычислены коэффициенты парной корреляции, уравнений регрессии, математические зависимости между свойствами почв по 15 формулам, оценены полихорические показатели связи.

Результаты научных исследований были представлены в 8 конференциях: VII съезд общества почвоведов им. В.В. Докучаева и всероссийская с международным участием научная конференция «Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны», Москва, 2016; научная конференция, посвященная 80-летию кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами в 100-летней истории Воронежского государственного университета «Чернозёмы центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования», Воронеж, 2017; международная научная экологическая конференция, посвященная 95-летию Кубанского ГАУ «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства», Краснодар, 2017; IX международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы природных и урбанизированных территорий», Астрахань, 2018; международная научная конференция посвященная 175-летию К.А. Тимирязева, Москва, 2019; международная научная экологическая конференция «Отходы: причины их образования и перспективы использования», Краснодар, 2019; International conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration», Beijing, PRC, China, 2019, Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова.

Публикации результатов исследования.

По материалам диссертационной работы опубликовано 78 научных трудов, из них: 25 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ по научной специальности, 22 статьи в других журналах из списка ВАК, 9 статей в РИНЦ, 18 статей в материалах конференций, 4 монографии.

Личный вклад автора.

Все исследования по теме диссертации выполнены автором лично или при его непосредственном руководстве и участии в период с 2016 по 2025 гг. Автору принадлежит постановка целей исследования, участие в лабораторных и полевых опытах, обобщение полученных материалов, написание диссертации, подготовка и публикация статей и монографий.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 393 страницах. Состоит из введения, основной части, содержащей 28 рисунков, 93 таблицы,

заклучения, списка литературы (включает 601 наименование, в том числе 31 – на иностранном языке).

Благодарности. Автор благодарит за помощь в работе и ценные замечания профессора Савича В.И. – кафедра почвоведения, геологии и ландшафтоведения, профессора Белопухова С.Л., Смарыгина С.Н. – кафедра химии, профессора Яшина И.М. – кафедра экологии, профессора Тараканова И.Г. – кафедра физиологии растений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Литературный обзор

Кислотно-основное и окислительно-восстановительное состояние почв являются интегральными показателями генезиса и эволюции почв, их агроэкологического состояния. Они характеризуются свойствами, процессами и режимами, между которыми существуют взаимосвязи, изменяющиеся во времени и в пространстве. Тесная взаимосвязь существует и между кислотно-основным и окислительно-восстановительным состоянием почв, растений и микрофлоры.

Кислотно-основное равновесие в почве в значительной степени определяет плодородие почв, рост и развитие сельскохозяйственных культур. Практически оно влияет на все процессы, происходящие в почве и в системе почва-растение. Для повышения коэффициента полезного действия систем земледелия необходимо знание сущности кислотно-основного равновесия для различных условий и культур, путей создания почв с заданными условиями кислотно-основного равновесия.

Необходимость более полного изучения кислотно-основного равновесия в почве определяется необходимостью решения ряда проблем.

При осушении и орошении почв, как правило, изменяется реакция среды. При этом в ряде случаев наблюдаются отрицательные последствия, в частности, при повышении щелочности при поливе. Необходимо прогнозировать эти процессы и знать пути управления ими.

Внесение мелиорантов в почву часто приводит к изменению подвижности ряда ионов и уменьшению их доступности для растений. Однако даже теория этого вопроса пока не разработана.

Внесение мелиорантов приводит к изменению pH среды, однако этот процесс является обратимым, т.к. находится в равновесии с окружающей средой. Для практических целей необходимо точное знание происходящих процессов.

Расчет доз удобрений и мелиорантов до настоящего времени является недостаточно совершенным, что приводит к экономическим потерям. Во-первых, не учитывается не только вся совокупность свойств почв, их генезис, но даже формы кислотности и щелочности. Во-вторых, при расчете принимают допущение, что весь вносимый Са растворяется и весь обменивается на катионы H^+ или Na^+ . В действительности для каждой почвы характерно свое эффективное произведение растворимости $CaCO_3$, $CaSO_4$, свои константы ионного обмена Са на H^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и т.д.

В настоящее время реально не существует методических подходов для расчета, позволяющих оптимизировать или создать почвы с точно заданным pH, составом обменных катионов ППК.

Глава 2. Условия, объекты, материалы и методы исследований

2.1. Объекты исследования

Объектом исследования выбраны дерново-подзолистые почвы Московской области и обыкновенные карбонатные черноземы Краснодарского края. Кислотно-основное и окислительно-восстановительное состояние почв изучалось на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах на покровных суглинках разной степени гидроморфности, эродированности, окультуренности хозяйства «Михайловское», на стационарных площадках кафедры почвоведения РГАУ-МСХА в катене, в длительных полевых опытах кафедры растениеводства РГАУ-МСХА.

Почвы имели в подпахотных горизонтах очень низкие значения pH (до 3,7), в оглеенных горизонтах высокое содержание подвижных форм Fe, Mn, Al, низкие значения Eh, содержания водорастворимых соединений NO_3 .

Обыкновенные глинистые карбонатные малогумусные мощные черноземы изучались в ООО «Заветы Ильича» Ленинского района Краснодарского края, в катене этих почв. Оценивались взаимосвязи почв плато, склона, депрессий. Система почва-растение изучалась в длительных полевых опытах этого хозяйства и в длительных полевых опытах Северо-Кубанской сельскохозяйственной опытной станции.

В нижних горизонтах этих почв отмечались неблагоприятные значения pH (до $>8,5$), установлен недостаток водорастворимого Ca, отмечалось развитие весной водной, а летом – ветровой эрозии, развитие восстановительных условий в лугово-черноземных почвах нижней трети склонов и депрессий.

В почвах объектов исследования по почвенному профилю и в катене определены физико-химические, водно-физические и агрохимические свойства почв, минералогический состав почв, микробиологическая активность.

Изучались дерново-подзолистые почвы среднесуглинистые на покровных суглинках с содержанием гумуса 1,5-2,5%, $\text{C}_{\text{гк}}/\text{C}_{\text{фк}} = 0,5-0,8$, с емкостью поглощения катионов 9-18 мг-экв/100г в зависимости от степени окультуренности почв, $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=6-7$, содержание подвижного фосфора от 50 мг на 1 кг в слабоокультуренных почвах до 300 мг – в хорошо окультуренных, содержание обменного калия 100-200 мг/кг.

Изучались обыкновенные карбонатные черноземы глинистые мощные, малогумусные с $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) = 8,0-8,5$, с содержанием гумуса 3-4%, емкостью поглощения 30-40 мг-экв/100г хорошо обеспеченные подвижными формами фосфора и обменного калия.

2.2. Методы исследования

При выполнении работы были проведены полевые исследования, лабораторные анализы, поставлены модельные опыты, выполнена статистическая обработка данных анализов. Работа выполнялась с 2016 по 2024 гг.

Методика исследования состояла в определении водно-физических, физико-химических и агрохимических свойств методами, рекомендованными почвенной и агрохимической службами России (Минеев В.Г., Сычев В.Г., Воробьева Л.А.). Анализы выполняли во ВНИИА, на кафедрах химии, почвоведения, геологии и ландшафтоведения, физиологии растений, микробиологии УНЦКП «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, в Почвенном институте им. В.В. Докучаева, в институте физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН, в НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина, в сертифицированных лабораториях г. Москвы, в лаборатории ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района Краснодарского края, в лаборатории Северо-Кубанской сельскохозяйственной опытной станции.

Для углубленной оценки кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв проводилось определение содержания в почвах оксидантов и антиоксидантов, положительно и отрицательно заряженных аэроионов, энергетического состояния почв с использованием методов ИКС, GRB, содержания положительно и отрицательно заряженных комплексных соединений катионов методом химической автографии на основе электролиза (Савич В.И.), фракционного состава ОВ систем методом потенциостатической кулонометрии (Савич В.И., Смарыгин С.Н., Улько Н.Г.), комплексообразующей способности почвенных растворов (Карпухин А.И., Савич В.И.). Для дополнительной оценки кислотно-основного состояния почв проводилось определение кинетики процессов (Карпухин А.И., Фокин А.Д., Савич В.И.), депонирующей способности почв (Дерюгин И.П., Панов Н.П., Савич В.И.). Оценка цветовой гаммы почв методом компьютерной диагностики в системах RGB, CMYK, Lab проводилась в соответствии с руководствами Савича В.И., Егорова Д.Н., Кирюшина В.И. Использование систем обратной связи для оценки оптимальных свойств почв проводилось в соответствии с руководством Савича В.И., Шишова Л.Л., Сычева В.Г. Все данные обработаны с применением методов вариационной статистики, вычислены уравнения парной корреляции, множественной регрессии. Принятый уровень вероятности $P = 0,95$. Критерий Фишера > 3 .

Глава 3. Экспериментальная часть

Фракционный состав кислотно-основных систем. Кислотность почв обусловлена ионами H^+ , содержащимися в функциональных группах органических веществ почв и в их минералогическом составе. В органическом веществе – это карбоксильные, спиртовые, фенольные группировки. Очевидно, что в одних почвах содержится больше одних групп, в других почвах – других. Поэтому емкость почв в кислотно-основном интервале в одних почвах выше в одном интервале, в других – в другом. При определении фракционного состава кислотно-основных

систем почв различают фракции по природе кислотности и щелочности, по скорости перехода ионов H^+ в раствор, по прочности связи H^+ с ППК и т.д.

Общепринято определение актуальной кислотности (в H_2O суспензии или вытяжке) и потенциальной кислотности (обменной – в вытяжке 0,1н KCl и гидротитической – в 0,1н CH_3COONa). По полученным нами данным, целесообразно определение фракционного состава кислотно-основных систем почв в разных интервалах рН или $pK_a = -lgH^+$. Пример такого определения приведены в таблице 1 и 2.

Таблица 1 - Количество титранта, необходимое для изменения рН почв на единицу(мг-экв/100г)

Почва	Количество титранта, необходимое для изменения рН на единицу в интервале рН		
	3-4	4-6,5	6,5-10
дерново-подзолистая «Михайловское»	4,0	1,6	1,6
чернозем обыкновенный	13,0	4,0	3,1

Таблица 2- pK_a функциональных групп ППК и количеств титранта мг-экв/100г, пошедших на их оттитровку

Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая, А ₁							
pK_a	2,5	3,4	3,5	4,0	4,9	6,7	7,1
Е	0,4	2,4	3,2	4,8	0,4	2,4	3,2

Кинетика кислотно-основных реакций в почвах. Все процессы протекают в почве с определенной скоростью. Более медленные процессы характерны для почв более гумусированных, более тяжелого гранулометрического состава, с большей долей в минералогическом составе минералов группы монтмориillonита. На это указывал еще Прянишников Д.Н. Перспективность оценки скорости процессов, протекающих в почве, подтвердили Карпухин А.И., Фокин А.Д., Торшин С.П.

По полученным нами данным, при взаимодействии пахотного горизонта дерново-подзолистых почв с водой 5 минут и 5 суток значение рН изменилось от $6,9 \pm 0,1$ до $7,0 \pm 0,3$; Еh – от $326,3 \pm 8,0$ до $299,1 \pm 14,8$; содержание водорастворимого калия – от $11,1 \pm 2,1$ до $23,3 \pm 1,6$ мг/л.

Депонирующая способность почв к H^+ катионам, определяющим кислотно-основное равновесие почв. Переход ионов из твердой фазы почв в водные растворы и десорбентов определяется эффективными произведениями растворимости имеющихся осадков, эффективными константами ионного обмена и эффективными константами нестойкости имеющихся в почве комплексов.

Депонирующая способность почв отличается для фракций ионов различной прочности связей и зависит от продолжительности взаимодействия почв с растворами десорбентов.

Содержание катионов Ca, Mg, K, существенно влияющих на кислотно-основное состояние почв, определяется эффективными произведениями растворимости их осадков, эффективными константами ионного обмена и эффективными

константами устойчивости образующихся комплексов. Это интенсивные параметры оценки состояния ионов в почвах. Они не всегда коррелируют с содержанием подвижных ионов в твердой фазе почв. Для оценки последнего показателя проводят вытеснение ионов из твердой фазы последовательными вытяжками H_2O и принятых в агрохимической службе десорбентов при добавлении к 10 г почвы до 10 л растворов. Депонирующая способность почв, как правило, больше выражена в почвах более тяжелого гранулометрического состава, более гумусированных. С большей долей в минералогическом составе почв минералов типа 2:1, 2:2 с хорошо выраженным интрамицеллярным типом поглощения.

По полученным данным, депонирующая способность к H^+ , а также Ca, Mg, Fe, Al больше в почвах более гумусированных и почвах более тяжелого гранулометрического состава, по отношению к H^+ , Ca, Mg, K выше в черноземах, по сравнению с дерново-подзолистыми почвами.

Суспензионный эффект почв в кислом и щелочном интервалах и его агроэкологическая оценка. Суспензионный эффект определяется разностью pH в суспензии и в фильтрате почв. Величина pH в суспензии отличается от pH фильтрата. Аналогичные закономерности отмечаются при оценке pK, pCa, pMg, pCu, pPb и т.д. В кислых почвах отмечается кислый суспензионный эффект (pH суспензии меньше, чем pH фильтрата), в щелочных почвах наблюдается щелочной суспензионный эффект (Понизовский А.А., Воробьева Л.А., Савич В.И.).

Однако, с нашей точки зрения, суспензионный эффект по pH несет и информационную функцию и отличается для разных почв и горизонтов.

Так, при внесении в дерново-подзолистую почву $CaCO_3$ значение pH в горизонте A_1 составило в суспензии 7,3, в фильтрате – 7,5; в горизонте A_2B соответственно 5,3 и 6,3. При внесении в почву $CaCO_3$ + растительные остатки трав pH в горизонте A_1 составило в суспензии 6,6, в фильтрате 6,8, в горизонте A_2B – соответственно 5,5 и 6,1.

Величина суспензионного эффекта отличается в разных интервалах pH и является характеристической для отдельных типов почв, зависит от их степени плодородия и деградации.

Буферная емкость почв в кислотно-основном интервале. Важное практическое значение имеет буферная емкость почв в кислотно-основном интервале – способность почв противостоять изменению pH при добавлении к почве кислоты или щелочи, применении физиологически кислых и физиологически щелочных удобрений. Это иллюстрируют данные таблицы 3.

Как видно из представленных данных, буферная емкость почв отличается для разных горизонтов дерново-подзолистой почвы и в разных интервалах pH.

Буферная емкость закономерно изменяется в зависимости от доз внесения органических удобрений и по горизонтам. Однако в разных интервалах pH и в разных горизонтах эти зависимости неодинаковы. При добавлении 1 мл 1M NaOH в интервале pH = 7-9 для A_1 буферная емкость к подщелачиванию выше при высоких дозах органических удобрений, однако, вниз по профилю почв она не уменьшается.

Таблица 3 - Буферная емкость исследуемых почв в кислотно-основном интервале при внесении в них помета

Вариант, горизонт	ΔрН при добавлении мл					
	0,1М NaOH			0,1М HCl		
	0-1	1-2	2-3	0-1	1-2	2-3
средняя доза – 100 т/га						
АпА ₁	1,9±0,1	1,0±0,1	0,5±0,1	2,4±0,1	0,8±0,1	0,4±0,1
А ₂ В	1,6±0,1	1,0±0,3	0,4±0,1	2,9±0,5	0,6±0,1	0,5±0,1
В ₁ В ₂	1,6±0,2	1,2±0,1	0,8±0,1	2,4±0,1	0,5±0,1	0,4±0,1
высокая доза – 500 т/га						
АпА ₁	1,5±0,6	1,0±0,1	0,7±0,1	1,3±0,1	0,5±0,1	0,3±0,1
А ₂ В	1,3±0,2	1,2±0,2	0,9±0,1	2,3±0,2	1,2±0,2	0,6±0,1
В ₁ В ₂	2,1±0,2	1,3±0,1	0,6±0,1	2,3±0,2	0,6±0,1	0,2±0,1
макс. доза – 1000 т/га						
А ₁	1,1±0,2	1,1±0,2	0,9±0,1	1,1±0,2	0,6±0,1	0,3±0,1

Буферная емкость почв в кислотно-основном интервале является информативным показателем генезиса и плодородия почв. Буферная емкость почв в кислотно-основном интервале характеризует агроэкологическое состояние почв и является характеристическим параметром для разных таксономических единиц почв. Буферная емкость почв в кислотно-основном интервале отличается для разных почв в определенных интервалах рН.

Глава 4. Кислотно-основное равновесие и процессы в почвах

При изменении кислотно-основного состояния почв за счет воздействия внешних факторов в почве протекают различные процессы, связанные друг с другом. При этом происходит последовательное изменение свойств почв, и проявляются последовательные корреляции, возникают прямые и обратные связи.

Кислотно-основное состояние почв изменяется в сезонной динамике при изменении влажности и температуры. При повышении влажности почвы более вероятно поглощение твердой фазой многозарядных катионов, а среди равнозарядных – катионов с меньшей энергией гидратации. В связи с этим, при увеличении влажности почв и при орошении более вероятен обмен Н, Na, К на Са и менее вероятен обмен магния на кальций. При увеличении температуры почвы (при прочих равных условиях) или воды при орошении относительно легче входят в ППК многовалентные катионы, а среди равнозарядных – катионы с большей энергией гидратации (Савич В.И., 1974).

При повышении температуры почвы в ППК более энергично входят ионы с большей энергией гидратации, Mg вместо Са и Са вместо 2 ионов Na, К взамен Na.

Развитие анаэробных условий при избыточном увлажнении почв приводит и к поэтапному изменению рН и E_h, содержания NO₃. Это иллюстрируют данные таблицы 4.

Таблица 4 - Влияние анаэробных условий на свойства
дерново-подзолистых почв

Окультуренность	Eh, мВ по ХСЭ		pH		NO ₃ , м/л · 10 ⁻³	
	1 н *	15 н	1 н	15 н	1 н	15 н
OK ₁	233	166	7,3	8,2	5,6	0,4
OK ₃	229	12	5,3	7,3	5,6	0,6

*) 1 и 15 недель компостирования при избыточной влажности

Протекающими в почвах кислотно-основными процессами и режимами обусловлена сезонная динамика pH и параметров почв, с ней взаимосвязанных, скорость развития оглеения, подзолообразования, дернового процесса.

Динамика массопереноса удобрений в почве. Вносимые в почву удобрения распространяются от зоны внесения на разном расстоянии в зависимости от дозы удобрений и состояния свойств почв. При этом на разном расстоянии от зоны внесения удобрений содержание водорастворимых и подвижных соединений катионов отличается, что иллюстрируют данные таблицы 5.

Таблица 5 - Влияние аммиачной селитры на подвижность катионов в дерново- подзолистой почве хозяйства «Восход» Московской области, мг/л (п=7-21)

Катионы	Почва-вода = 1:2		0,2н HCl	
	0-6 *)	12-17	0-6	12-17
K	28,1±4,5	12,2±1,9	46,0±5,5	66,7±16,2
Mg	4,8±0,5	4,3±0,5	13,5±2,2	34,6±3,4
Ca	37,4±3,8	25,9±2,8	74,4±10,8	190,9±29,5
Cu	0,3±0,03	0,02±0,001	0,1±0,02	0,0
Mn	0,7±0,1	0,2±0,04	0,5±0,1	0,7±0,3
Fe	44,4±17,8	4,9±1,9	1,8±0,3	0,3±0,04
Zn	0,8±0,1	0,2±0,1	0,8±0,3	0,4±0,1
Ni	0,3±0,02	0,2±0,01	0,2±0,01	0,2±0,01

*) расстояние от зоны внесения удобрений; проводилось последовательное вытеснение H₂O и 0,2н HCl.

Как видно из представленных данных, содержание водорастворимого и подвижного железа выше ближе к зоне внесения NH₄NO₃, водорастворимых Ca, Mg – ближе к зоне внесения. При поглощении биофильных элементов растениями их содержание вблизи корней меньше, чем на некотором расстоянии.

Величина поглотительной способности корней отличается для отдельных сортов. Так, по полученным нами данным, при проращивании семян пшеницы сорта «Баграт» и «Гром» на пахотном слое обыкновенного чернозема значение pH(H₂O) составило в конце опыта соответственно 7,2 и 5,8, размер стеблей проростков – 9,9±0,3 и 7,4±0,6, размер корней соответственно 9,2±0,4 и 6,8±0,3 см.

Кислотно-основные режимы в почвах. Кислотно-основные режимы в почвах определяются закономерным изменением кислотно-основных свойств, процессов во времени и в пространстве. Кислотно-основное состояние почв в значи-

тельной степени связано с образованием комплексов Ca, Mg, Fe, Mn, Al с лигандами водорастворимого органического вещества разлагающихся растительных остатков. При этом при кислой реакции среды проявляются эффекты протонирования комплексов, а при щелочной – эффекты гидратообразования. Это иллюстрируют данные таблицы 6.

Таблица 6 - Влияние на вытеснение Fe из дерново-подзолистых почв влажности, степени развития анаэробнозиса, pH, комплексообразования, мг/л

Вытяжка	pH	60% ПВ		100% ПВ	
		влажная почва	сухая почва	влажная почва	сухая почва
для Ап KCl KCl + ЭДТА	pH = 3,8	1,36	1,68	5,01	6,22
	pH = 5,8	1,25	1,56	0,47	0,58
	pH = 8,5	1,28	1,58	5,82	7,23
	pH = 4,3	63,29	76,53	100,35	126,17
	pH = 6,2	51,02	62,03	92,39	115,75
	pH = 7,4	40,39	49,08	95,54	119,53
для всех горизон- тов KCl KCl + ЭДТА	pH = 3,8	1,31	1,51	5,34	6,53
	pH = 5,8	1,00	1,15	2,69	3,19
	pH = 8,5	1,29	1,56	16,26	19,83
	pH = 4,3	34,57	40,72	64,15	78,79
	pH = 6,2	30,18	35,35	55,34	68,01
	pH = 7,4	26,74	31,32	72,93	89,10

Как видно из представленных данных, раствором 0,1н KCl из дерново-подзолистой почвы вытесняется меньше железа, чем раствором 0,1н KCl + 0,01М ЭДТА. Из почв, компостированных при избыточной влажности, вытесняется большее количество железа, чем из почв, компостированных при оптимальной влажности. При кислой реакции среды вытесняется больше Fe, чем при нейтральной. Однако при щелочной реакции среды, в связи с образованием гидроксидных комплексов, вытеснение из них железа снова возрастает. Это в меньшей степени проявляется при комплексообразовании.

Изменение кислотно-основного состояния почв в ландшафте, в катене, по профилю почв, в разных гранях и слоях структурных отдельностей.

Внесение удобрений и мелиорантов изменяет кислотно-основное состояние почв. Эти изменения отличаются для почв плато, склонов, выположенных по рельефу участков.

Внесение извести и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в почвы влияет на подвижность поливалентных катионов, но в разной степени на почвах плато, склона и выположенного склона.

Изменение свойств почв при чередовании их увлажнения.

Развитие анаэробных условий при оглеении почв приводит к увеличению содержания в почвенном растворе катионов. При промывном типе водного режима они вымываются из верхних горизонтов, и почва подкисляется, при непромывном типе водного режима катионы остаются в верхних слоях почв, и

происходит подщелачивание среды. Буферность почв в щелочном интервале в первом цикле много больше у черноземов. Буферность почв в кислом интервале (при подсушивании почв) в первом цикле больше у чернозема, а во втором цикле увлажнения – иссушения в сравниваемых почвах примерно одинакова. В дерново-подзолистых глеевых почвах, по сравнению с дерново-подзолистыми, подщелачивание почв при затоплении меньше в первом цикле и больше во втором. При подсушивании почв в оглеенных почвах подкисление выражено в меньшей степени, учитывая ΔpH во времени, но больше по абсолютным значениям pH . Изменение pH при подсушивании составляет в 1-ом цикле иссушения у автоморфной почвы – 0,7, у полугидроморфной – 0,3; во 2-ом цикле соответственно – 0,9 и 0,7.

В автоморфной почве абсолютные значения pH при затоплении достигали 7,0; в полугидроморфной – 5,3-5,2. При иссушении абсолютные значения pH в автоморфной почве равны 6,5 и 6,3; в полугидроморфной – 4,7 и 4,4. Результаты изменения окислительно-восстановительного состояния почв при чередовании увлажнения – иссушения представлены в таблице 7.

Восстановительные процессы быстрее возникают и интенсивнее развиваются в гумусовом горизонте дерново-подзолистой почвы и медленнее в выщелоченном черноземе.

Таблица 7 - Изменение ОВ состояния почв при чередовании увлажнения – иссушения

Условия увлажнения	Продолжительность увлажнения - иссушения	$\Delta Eh/\Delta t$	$\Delta Eh/(Eh_0 \cdot \Delta t)$
дерново-подзолистая 60% ПВ > 100% ПВ иссушение	5 дней	105,7	0,19
	21 день	35,0	0,06
	17 дней	22,3	0,06
	21 день	11,1	0,02
дерново-подзолистая оглеенная 60% > 100% ПВ иссушение	5 дней	29,3	0,09
	21 день	13,0	0,02
	17 дней	6,0	0,04
	21 день	15,6	0,01
чернозем 60% ПВ > 100% ПВ иссушение	5 дней	82,9	0,16
	21 день	24,5	0,05
	17 дней	31,4	0,06
	21 день	5,3	0,01

Так, в дерново-подзолистой почве уже на 19 день избыточного увлажнения ОВ потенциал снизился до -28 мВ, а в выщелоченном черноземе – до 199 мВ. При последующем иссушении почв по истечении 17 дней в них еще преобладают восстановительные процессы, которые более ярко выражены в дерново-подзолистой почве. В этот период в указанной почве продолжалось снижение Eh до -198 мВ, что, очевидно, обусловлено проявлением гистерезиса.

Дальнейшее подсушивание почв привело к более быстрому увеличению окислительно-восстановительного потенциала в дерново-подзолистой почве, по сравнению с черноземом, что связано с большей буферной емкостью чернозема.

К изменению кислотно-основного состояния почв и свойств почв, с ним связанных, приводит и чередование условий увлажнения и иссушения почв. Это иллюстрируют данные таблицы 8.

Таблица 8 - Изменение содержания закисного железа при чередовании увлажнения и иссушения почв (мг/л)

Вариант	Дерново-подзолистая почва	Чернозем
60% ПВ – 5 дней	1,6	1,4
затем 100% ПВ – 37 дней	74,4	40,2
затем 60% ПВ -106 дней	19,1	2,0

Глава 5. Кислотно-основное состояние испарений из почв и продуктов транспирации из растений и их информационная роль

Оценка почвенных газов. Объектом исследования выбраны, в основном, почвы таежно-лесной зоны под лесными и сельскохозяйственными угодьями и для сравнения почвы других почвенно-климатических зон.

Методика исследования состояла в оценке содержания в почвенном воздухе O_2 и CO_2 , базального и субстрат-индуцированного дыхания, в определении химического состава испарений из почв и продуктов транспирации из растений, в оценке параметров фотосинтеза растений, в энергетической оценке газообразных продуктов, выделяемых почвами и растениями, в определении их биологической активности.

В наших экспериментах для уточнения размеров выделения углекислого газа из почв, в разной степени удобренных и загрязненных птичьим пометом, оценивали базальное фоновое дыхание (БД), субстрат-индуцированное дыхание (СиД) с использованием хроматографа «Кристалл-5000».

Полученные данные приведены в следующей таблице 9. Как видно из представленных данных, в исходных образцах максимальная микробиологическая активность отмечается в хорошо окультуренной почве, меньше в торфе и еще меньше в слабоокультуренной дерново-подзолистой почве.

Изменение кислотно-основного состояния почв под влиянием растительного покрова и водорастворимых продуктов миграции разлагающихся растительных остатков. Кислотно-основное состояние почв обусловлено растительным покровом (поглощением растениями элементов, продуктами разложения корневого и надземного растительного опада, водным режимом почв). При промывном типе водного режима основания выносятся из верхних слоев почв, и почва подкисляется, при непромывном – продукты разложения алюмосиликатов остаются в верхней части профиля, и почва нейтрализуется.

Таблица 9 - Содержание NO₃ мг/кг, субстрат-индуцированного дыхания (СиД) и базального фонового дыхания (БД) в образцах почв с разной дозой птичьего помета

Вариант	NO ₃ , мг кг ⁻¹	БД, мкг CO ₂ г ⁻¹ ·час	СиД мкг CO ₂ г ⁻¹ ·час	1	2	3
ДП ₂ ОК ₁ контроль	23±1,8	50,8±5,3	218,9±75,2	6,9±1,1	0,23	8767±3012
+ 3,3 г помета	82±7,4	26,5±9,8	276,8±72,4	3,6±1,9	0,10	11085±2898
+ 33,3 г помета	24±1,6	34,9±13,7	356,2±144,5	3,3±2,0	0,10	14266±5773
ДП ₂ ОК ₃ контроль						
+ 3,3 г помета	19±1,3	36,0±22,4	576,9±272,0	2,5±0,9	0,06	23097±10890
+ 33,3 г помета	90±8,2	20,0±7,1	652,4±277,2	2,7±1,8	0,03	13631±5878
торф низинный контроль	11±1,1	36,2±6,6	480,7±117,3	3,8±2,3	0,07	19243±4698
+ 3,3 г помета						
+ 33 г помета						
	9±1,0	43,1±6,4	419,7±160,7	4,3±1,8	0,10	16802±6435
	13±1,2	72,8±32,6	900,5±167,3	3,1±2,1	0,08	36064±6543
	14±1,2	72,2±6,8	840,2±196,0	2,7±1,0	0,09	33652±7846

*) 200 г почв компостировались при влажности 90% ПВ 2 недели;

1 – микробный метаболический коэффициент – отношение скорости базального дыхания к микробной биомассе = q_{CO_2} мкг CO₂/мг С мк·час;

2 – отношение скорости БД/СиД = Q_R ;

3 – микробная биомасса, мкг/г почвы.

По полученным нами данным, подкисление почв обусловлено следующими процессами:

1. Оподзоливание почв обусловлено миграцией вниз по профилю кислых продуктов разлагающегося растительного опада и вымыванием карбонатов, поглощенных оснований, разрушением алюмосиликатов и элюированием продуктов разрушения в нижние горизонты и за пределы почвенного профиля. Интенсивность этих процессов обусловлена рН и количеством H⁺ в мигрирующих водах, константами устойчивости образующихся комплексов органических лигандов с Ca, Mg, Fe, Al, Mn, K и количеством комплексов в мигрирующих водах, константами восстановления Fe³⁺, Mn⁴⁺ и их комплексов с лигандами почвенных растворов и количеством восстановителей в мигрирующих водах. Дополнительно подкисление почв обусловлено скоростью миграции воды через почвенный профиль.

Под разными растительными ассоциациями отмечается и неодинаковая микробиологическая активность. Так, в почве Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА под липой и березой количество микроорганизмов, развивающихся на МПА составляло 4 и 19 млн. клеток на 1 г почв, на КАА – 21 и 9. Плотность почв также различается под разными культурами. Так, под хвощом она была 0,67 г/см³, под кислицей, копытнем, папоротником – 0,68; 0,71 и 0,55.

рН водорастворимых органических веществ разлагающихся растительных остатков изменяется в зависимости от степени разложения этих остатков.

В значительной степени интенсивность оподзоливания обусловлена комплексообразующей способностью мигрирующих почвенных растворов. Константы устойчивости комплексов поливалентных катионов с лигандами водорастворимого органического вещества (pK_H) достигали 10-20.

Вытеснение из дерново-подзолистых почв Zn и Fe десорбентом 0,1н KCl и KCl + H₂C₂O₄, KCl + лимонная кислота составило для Zn 0,11 мг/л; 0,42 и 0,32 мг/л; Fe соответственно 0,20; 0,92 и 17,7 мг/л.

2. В то же время, интенсивность элюирования элементов из почв обусловлено и массой опада. Большее количество водорастворимых органических веществ выщелачивается из свежих листьев лиственных пород – 190-490 г/м², по сравнению с выщелачиванием из хвойных пород – 128 г/м².

Содержание в многолетней надземной массе в березняке Ca – 253 кг/га, K – 127, Mg – 70, P – 38, N – 505 кг/га; в ельнике Ca – 37, K – 31, Mg – 5,7, P – 4,1, N – 42 кг/га. То есть потребление Ca, K, Mg березняком много выше, чем ельником. Отношение поглощения катионов к анионам в березняке 0,9; в ельнике – 1,6. Это должно вызывать большее оподзоливающее действие на прикорневую зону ельника, по сравнению с прикорневой зоной березняка.

В то же время, опад в березняке намного больше, чем в ельнике. Кислые органические соединения стекают в почву по стволам деревьев, с поверхности листьев и хвои, что также является одним из факторов подзолообразования.

Вблизи дерева содержание Pb в вытяжке CH₃COONH₄ составляло в почве 1,5 мг/л, около ствола – 2,7; Fe соответственно 2,2 и 3,2; Mn – 4,8 и 8,6 мг/л.

В зависимости от типа деревьев кислотность подкронных вод понижается на 0,2-0,6 единиц pH. Миграция воды вниз по профилю усиливается при наличии основной массы деятельных корней на определенной глубине. Это касается и древесных культур. С одной стороны, основная масса корней, развитая на определенной глубине, усиливает нисходящий ток воды. С другой стороны, корни в связи с развитием дернового процесса почвообразования, переносят Ca, Mg, K и другие катионы из нижних слоев почв в верхний горизонт, увеличивают содержание подвижных форм, в связи с интенсификацией биохимического выветривания.

3. Подкисление почв обусловлено и потреблением растениями катионов Ca, Mg, Fe, Mn, Na, как в виде свободных ионов, так и в виде комплексов, в сочетании с анионами, что отмечается при отрицательном балансе по этим катионам в почве при выращивании сельскохозяйственных культур.

Растения потребляют катионы из почвы в обмен на H⁺, что приводит к подкислению прикорневой зоны. Это часто идентифицируется в виде белесого налета на корнях ели, сосны. Однако дуб поглощает больше Ca, чем ель, но подкисления почв вблизи его корней не отмечается.

С нашей точки зрения, такое явление обусловлено одновременным поглощением растениями и катионов, и анионов, а также поступлением в корни комплексных соединений.

Состав растительных ассоциаций, под которыми развиваются подзолистые почвы, отличаются в сезонной динамике. Весной в напочвенном покрове преобладают одни травянистые растения, летом и осенью – другие, имеющие иной

биохимический состав и pH опада после его разложения. При этом важное значение для формирования кислотно-основного состояния почв имеет не только pH растворов, но и содержание в них ионов H^+ в мг-экв/л.

Разные растения избирательно поглощают кальций, что сказывается на кислотно-основном равновесии в прикорневой зоне. Так, по полученным нами данным, соотношение Ca/Fe в питательном растворе после выращивания на нем проростков риса сорта «Лиман» составляло 72,6, а после выращивания сорняка клубнекамыш – 720.

Поглощаемые из почвы корневыми системами растений катионы могут находиться как в виде свободных ионов, так и в виде комплексов, заряженных положительно и отрицательно. Это влияет и на кислотно-основное равновесие в системе почва-растение. Так, по полученным данным, в прикорневой зоне, по сравнению с остальной массой почвы, в слабоокультуренной дерново-подзолистой почве было меньше положительно заряженных соединений Ca на $2,2 \text{ мг } 100\text{г}^{-1}$, отрицательно заряженных – $1,6 \text{ мг } 100\text{г}^{-1}$, в хорошо окультуренной почве соответственно на 0,7 и $1,6 \text{ мг } 100\text{г}^{-1}$.

В прикорневой зоне кислых почв, по сравнению с остальной массой почвы, больше отношение pCa/pK соответственно 1,1 и 0,7; меньше не связанных в комплексы соединений Ca, Mg, Fe. CaL^{n+}/CaL^{n-} составляло соответственно 0,04 и 5,5; MgL^{n+}/MgL^{n-} – 0,01 и 0,20; FeL^{n+} и FeL^{n-} соответственно 0,5 и 0,9.

Для почв, находящихся под 25-летними сосновыми насаждениями, снижение pH отмечалось на 0,3-0,8 единиц, содержание обменных Ca и Mg – на 20-60%. Изменение pH почв при их сельскохозяйственном использовании тесно связано с балансом Ca, Mg, K в системе почва-растение. Так, по полученным нами данным, отчуждение с поля и поступление в дерново-подзолистую слабоокультуренную почву Ca (кг/га) составляло под травами 2-го года использования соответственно $48,1 \pm 2,6$ и $54,9 \pm 3,3$; под картофелем – $3,5 \pm 0,4$ и $21,6 \pm 2,7$; под посевами викоовсяной смеси соответственно $21,0 \pm 8,1$ и $8,8 \pm 6,7$.

4. Подкисление почв обусловлено выпадением кислых атмосферных осадков с pH до 4,0 и пропорционально pH осадков, количеству H^+ в осадках, интенсивности осадков.

5. Развитие подзолообразовательного процесса чаще пропорционально и интенсивности временного анаэробнозиса, и чередованию увлажнения и иссушения почв в течение года. При этом переход железа, марганца и ряда других ионов из окисленного в восстановленное состояние сопровождается изменением их размера, расшатыванием кристаллической решетки минералов и более быстрым их разрушением.

Глава 6. Интегральная оценка окислительно-восстановительного состояния почв

Окислительно-восстановительная буферная емкость почв. Интегральная оценка окислительно-восстановительного состояния почв включает оценку ОВ состояния почв, растений, микроорганизмов, почвенных растворов и испарений

из почв, информационную и энергетическую оценку окислительно-восстановительного состояния почв.

Из свойств, определяющих окислительно-восстановительное состояние почв, важное значение имеет идентификация фракционного состава и окислительно-восстановительных систем и окислительно-восстановительной буферной емкости почв.

По полученным нами данным, фракционный состав ОВ систем почв характеризует устойчивость почв к окислению и восстановлению. Он определяется титрованием почв окислителями и восстановителями и методом потенциостатической кулонометрии на электродах из почвенно-угольной пасты. Это иллюстрируют данные таблицы 10.

Таблица 10 - ОВ емкость почв, определенная методом потенциостатической кулонометрии на электродах из почвенно-угольной пасты (фоновый электролит KCl)

Почва	Восстанавливающиеся при		Окисляющиеся при	
	Eh = -0,3 В	Eh = 0,08 В	Eh = +0,7 В	Eh = +1,0 В
ДП ₂ Ап	0,6	0,3	0,1	0,2
чернозем, Ап	1,1	0,5	0,2	0,7

Как видно из представленных данных, в черноземе больше окисляющихся и восстанавливающихся веществ, чем в дерново-подзолистой почве.

Скорость реакций окисления и восстановления в почвах. Как видно из представленных данных, скорость окисления и восстановления отличается в черноземах и дерново-подзолистых почвах, отличается в сухих и компостированных при избыточной влажности почвах, при окислении и при восстановлении. Рассчитанные нами данные приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Скорость окисления и восстановления почв, Δ мВ/час

Почва	Увлажнение	Δ мВ/час	
		KMnO ₄ в 0,1н H ₂ SO ₄	Na ₂ S ₂ O ₃
чернозем	сухой	+5,6	-2,6
	сырой	-0,2	-1,5
дерново-подзолистая	сухой	+11,5	-2,7
	сырой	-2,2	-1,4

Как видно из представленных данных, скорость окисления и восстановления отличается в черноземах и дерново-подзолистых почвах. В черноземах скорость окисления ниже, чем в дерново-подзолистой почве. В почвах избыточного увлажнения скорость окисления ниже, а восстановления выше.

Окислительно-восстановительные процессы в почвах. ОВ состояние почв характеризуется окислительно-восстановительными процессами в почвах — окислением, восстановлением компонентов, их миграцией в водную и воздушную среды, изменением ОВ состояния почв во времени и в пространстве, при затоплении и иссушении, при внесении в почву удобрений и мелиорантов.

При избыточном увлажнении почв возникают условия анаэробнозиса, скорость развития восстановительных условий характерна для определенных почв, температуры и продолжительности избыточного увлажнения.

Так, по полученным нами данным, в дерново-подзолистой почве скорость изменения Eh ($\Delta Eh/\Delta t$) в сутки составила через 14 дней при температуре $2^0 - 16,2$; при температуре $18-20^0 - 43,4$; а при температуре $30-40^0 - 30,1$ мВ/сутки. В обыкновенном черноземе при температуре 2^0 , $18-20^0$ и $30-40^0$ скорость падения Eh мВ/сутки за 14 дней составила соответственно 21,4, 43,9 и 41,5.

Как видно из представленных данных, при повышении температуры величина ОВ потенциала падает при избыточном увлажнении быстрее. В большей степени она уменьшается в черноземе по сравнению с дерново-подзолистой почвой.

Избыточное увлажнение почв приводит к увеличению количества восстановленных веществ и к уменьшению количества окисленных. Так, по полученным нами данным, в сухом черноземе и в черноземе, компостированном при избыточной влажности, содержание фракций, окисляемых $KMnO_4 - 0,5n$ в $1,0n$ H_2SO_4 при 60^0 , составило соответственно 4% и 17,8% от суммы окисляемых фракций, а восстанавливаемых $1,0n$ $SnCl_2$ в $1,0n$ HCl при 20^0 соответственно 43,6 и 33,3% от суммы восстанавливаемых фракций.

Избыточное увлажнение почв сопровождается не только количеством восстановленных веществ, но и изменением содержания и соотношения ионов в почвах.

Так, по полученным нами данным, в дерново-подзолистой почве оптимального и избыточного увлажнения ($n = 16$) соотношение водорастворимых Ca/Mg составляло соответственно 2,4 и 4,7; отношение Fe/Mn соответственно 0,002 и 0,01. Изменение при избыточном увлажнении почв pNO_3 приведено в таблице 12.

Таблица 12 - Изменение pNO_3 при избыточном увлажнении почв

Почва	Увлажнение	$pNO_3 = -lgNO_3$, мольл ⁻¹	
		начальная	через 6 дней
дерново-подзолистая	оптимальное	2,3	2,3
	избыточное	2,5	2,5
чернозем	оптимальное	1,7	1,7
	избыточное	2,9	4,8

Как видно из представленных данных, при избыточном увлажнении почв увеличивается соотношение Ca/Mg и Fe/Mn , при этом значительно увеличивается и количество водорастворимых Fe , Mn мг/л и уменьшается количество водорастворимых Ca и Mg .

При избыточном увлажнении почв уменьшается активность NO_3 в почвенных растворах. В большей степени это отмечается для черноземов.

Окислительно-восстановительные процессы в почвах идентифицируются и по составу аэроионов, испаряющихся из почв. Это иллюстрируют данные следующей таблицы 13.

Как видно из представленных данных, в черноземе, по сравнению с дерново-подзолистой почвой, больше аэроионов и в т.ч. доля положительно заряженных ионов.

Таблица 13 - Содержание аэроионов в дерново-подзолистой почве и черноземе ($a \cdot 10^3$)

Почва	Положительно заряженные	Отрицательно заряженные	Коэффициент униполярности
дерново-подзолистая	$0,6 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,1$	$25,3 \pm 10,6$
чернозем обыкновенный	$1,6 \pm 0,3$	$1,2 \pm 0,2$	$1,7 \pm 0,3$

Окислительно-восстановительное состояние почв изменяется в прикорневой зоне растений и влияет на ОВ состояние самих растений.

Так, по полученным нами данным, при развитии растений на дерново-подзолистой почве и дерново-подзолистой глеевой почве в продуктах транспирации из листьев содержание железа составляло соответственно 0,1 и 0,8 мг/л, марганца – 0,02 и 0,10; кальция – 33,4 и 11,0 мг/л.

Гистерезис окислительно-восстановительного состояния почв и параметров почв, с ним взаимосвязанных.

Гистерезис характеризует запаздывание следствия от причины - воздействия внешнего фактора. Наличие этого явления отмечается в иссушении и в увлажнении почв, в сезонной динамике изменения свойств почв. Из циклов процессов гистерезиса состоит весь почвообразовательный процесс. При этом степень разомкнутости петель гистерезиса соответствует необратимым изменениям свойств почв.

Так, по полученным нами данным, в дерново-подзолистой почве коэффициент корреляции $E_h = f(W)$ составлял -0,39; а при запаздывании на 10 дней = -0,43; $E_h = f(t^0) = -0,37$, а при запаздывании на 10 дней = -0,52. В черноземе $E_h = f(W)$ r равняется в Ап = -0,02, а при запаздывании на 10 дней -0,04; без запаздывания $r = -0,34$ а при запаздывании на 10 дней равняется -0,71.

Величина гистерезиса выражается в стандартном масштабе в $см^2$ петли гистерезиса. По полученным нами данным, величина гистерезиса при смене аэробных и анаэробных условий составляла в $см^2$ по Fe в дерново-подзолистой почве и черноземе соответственно 4,0 и 6,0; по Fe_2O_3 – 0,2 и 1,6; по NH_4 – 1,1 и 3,2.

Глава 7. Окислительно-восстановительные режимы почв

Изменение окислительно-восстановительного состояния почв при их оглеении.

Избыточное увлажнение почв приводит к изменению pH и E_h почв. При промывном типе водного режима почвы подкисляются, при непромывном – подщелачиваются. Изменение pH сопровождается и изменением содержания в почвах водорастворимых соединений катионов и анионов.

Изменение кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв обусловлено избирательным поглощением отдельных элементов почвами и растениями, поступлением их в почву из воздушной среды, с дождем, при применении удобрений и мелиорантов, с выделением растениями соединений, обладающих ярко выраженными кислотно-основными и окислительно-восстановительными свойствами, миграцией этих веществ по профилю, влиянием

перечисленных и атмосферных факторов на микробиологическую активность почв и последовательно на процессы разложения органических веществ в почве.

Почвенные режимы характеризуются закономерным изменением свойств и процессов во времени и в пространстве на разном иерархическом уровне. Они отличаются для почв вертикальной зональности, фациальности, отдельных зон, подзон и провинций почв.

На более низком иерархическом уровне почвенные режимы отличаются для почв катены, развитых на определенных элементах микрорельефа, в пределах парцеллы, во всей массе почвы и в прикорневой зоне растений, в отдельных гранях и слоях структурных отдельностей.

Почвенные режимы характеризуются определенной годовой и сезонной динамикой, зависимостью от температуры, влажности, pCO_2 и других внешних факторов. Параметры одних почвенных режимов зависят от параметров других режимов, протекающих одновременно (водного, теплового, кислотно-основного, окислительно-восстановительного, газового, калийного, фосфатного, азотного, информационного, энергетического и т.д.). При этом происходит последовательное изменение свойств почв с проявлением прямых и обратных связей.

Существенные изменения окислительно-восстановительного состояния почв и параметров, с ним взаимосвязанных, происходят при оглеении почв. Избыточное увлажнение почв приводит к снижению Eh и rH_2 почв, к переходу Fe^{3+} в Fe^{2+} , Mn^{4+} в Mn^{2+} , NO_3 в NH_4 , к частичному разрушению кристаллических решеток минералов и освобождению Al до 200 мг/100г. Это отмечается при $Eh < 400-200$ мВ по ХСЭ. Однако переход Mn^{4+} в Mn^{2+} происходит при $Eh = 400$ мВ, а Fe^{3+} в Fe^{2+} - при 200 мВ. В связи с этим, при избыточном увлажнении увеличивается соотношение водорастворимых и подвижных Fe и Mn в почвах. Это иллюстрируется данными следующей таблицы 14.

В сезонной динамике от апреля до июня в автоморфной дерново-подзолистой почве величина Eh изменялась от 744 мВ по ХСЭ до 534 мВ; rH_2 – от 32,8 до 29,2; отношение NO_3/NH_4 – от 15,4 до 0,9. В оглеенной дерново-подзолистой почве в сезонной динамике величина Eh изменялась от 298 до 193 мВ; rH_2 – от 23,3 до 19,4; содержание Mn^{2+} - от 0,6 до 1,0 мг/л.

Таблица 14 - Изменение отношения Fe/Mn в дерново-подзолистых почвах разной степени гидроморфности

Десорбент	Отношение Fe/Mn в глеевой и глееватой почвах
H_2O	286,7/9,3
KCl	0,15/0,13
$Na_2P_2O_7$	107,7/21,0

Окислительно-восстановительное состояние почв изменяется в катене и по горизонтам почвенного профиля.

Глава 8. Информационно-энергетическая и интегральная оценка кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния в системе почва-растение

Энергетическая оценка кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв.

Энергетическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв идентифицируется по E_h , rH_2 , p_e . Нами предлагается дополнительная оценка по содержанию положительно и отрицательно заряженных соединений, определяемых методом химической автографии на основе электролиза, методом газоразрядной визуализации, по содержанию оксидантов и антиоксидантов.

Так, по полученным нами данным, в дерново-подзолистой почве содержание положительно и отрицательно заряженных комплексных соединений железа, вытесняемых из почв методом химической автографии на основе электролиза, составляло при оптимальной влажности ($\varphi = 5$ в, $t = 1$ мин.) $ML^{n-} 1,58 \pm 0,25$ мкгсм⁻²; $ML^{n+} - 1,08 \pm 0,04$; при избыточной влажности $ML^{n-} - 2,06 \pm 0,9$; $ML^{n+} - 2,08 \pm 0,09$.

Как видно из представленных данных, при избыточной влажности почв изменяется содержание и соотношение положительно и отрицательно заряженных соединений ионов в почвах.

Энергетическая оценка почв идентифицируется и по данным газоразрядной визуализации. По полученным нами данным, энергетическое состояние почвенных растворов характеризуется наличием в них оксидантов и антиоксидантов. Полученные нами данные для образцов разной степени гумусированности и гидроморфности приведены в следующей таблице 15.

Таблица 15 - Содержание оксидантов и антиоксидантов в растворах почв разной степени увлажнения

Почва	Степень увлажнения	Антирадикальная активность*, мкг/г	Содержание антиоксидантов**, мкг/г
чернозем дерново-подзолистая	оптимальное	5,0±0,6	5,2±1,0
	избыточное	4,6±1,7	2,4±1,5
	оптимальное	7,7±1,2	2,1±1,3
	избыточное	5,8±1,7	3,5±0,9

*) в пересчете на аскорбиновую кислоту; **) в пересчете на кварцетин

Энергетическая оценка окислительно-восстановительного и кислотно-основного состояния почв идентифицируется и по параметрам, оцениваемым методом газоразрядной визуализации.

Информационная оценка кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв.

Изменение рН почв приводит к последовательному изменению физико-химических, водно-физических и агрохимических свойств почв, их микробиологической активности.

При увеличении pH возрастает содержание водорастворимых форм NO_3 , Ca, но уменьшается содержание водорастворимых Fe, Mn. Эти зависимости отличаются для отдельных почв и в разных интервалах pH.

Информационная оценка окислительно-восстановительного состояния почв характеризует взаимосвязи окислительно-восстановительного состояния и свойств почв и их изменение по почвенному профилю. С повышением pH содержание водорастворимых Ca, Mg возрастает, содержание Fe – падает. Увеличение Eh приводит к уменьшению содержания водорастворимых Fe, Mn (таблица 16).

Таблица 16 - Зависимость подвижности Fe, Mn от pH и Eh среды
в дерново-подзолистых почвах, мг/л

pH	Eh	Fe	Mn
6,8±0,1	268,9±23,5	2,1±0,9	18,4±4,9
6,5±0,2	344,2±16,4	0,2±0,1	0,1±0,1

Как видно из представленных данных, с увеличением Eh содержание водорастворимых Fe, Mn уменьшается. Однако переход окисных соединений Fe, Mn, Cu, Cr в закисные будет происходить при разных значениях Eh в зависимости от pH среды, состава растворов, протекающих процессов комплексообразования и не будет соответствовать всегда величинам 400 мВ для Mn и 200 мВ – для Fe, приводимым в литературе. Интегральная оценка окислительно-восстановительного и кислотно-основного состояния почв и урожай сельскохозяйственных культур. По полученным нами данным, кислотно-основное и окислительно-восстановительное состояние почв является интегральным показателем плодородия почв и в значительной степени определяет свойства почв и биопродуктивность угодий. При анализе данных многолетних полевых опытов на дерново-подзолистых почвах и обыкновенных черноземах показано, что оптимальные значения pH и Eh соответствуют интенсивному развитию в почвах дернового процесса почвообразования, накоплению гумуса, увеличению соотношения Сгк/Сфк, емкости поглощения почв, оптимизации водного и воздушного режимов почв и, как следствие, режимов состояния биофильных элементов в почвах.

Взаимосвязь кислотно-основных и окислительно-восстановительных режимов почв. Изменение pH почв приводит к последовательному изменению физико-химических, водно-физических и агрохимических свойств почв, их микробиологической активности. Это иллюстрируют данные следующей таблицы 17.

Таблица 17 - Статистическая связь между pH и содержанием
подвижных ионов в дерново-подзолистых почвах
(X, n = 300)

pH	NO_3	Ca	Ca:K	Mn	P_2O_5 , мг/100г по Кирсанову
	м/л		м/л		
<4,5	18,9	94,8	20,8	5,1	17,1
4,5-5,0	22,5	163,5	49,2	2,7	17,1
5,0-5,5	29,5	216,8	124,1	0,6	14,9
5,5-6,0	30,2	316,3	56,7	0,8	25,1
6,0-6,5	67,9	398,2	26,2	1,7	37,1
6,6-7,0	16,1	364,9	27,7	0,9	38,1
7,0-7,5	35,3	514,0	4,1	1,2	65,8

Как видно из представленных данных, при увеличении pH возрастает содержание водорастворимых форм NO_3^- , Ca, но уменьшается содержание водорастворимых Fe, Mn. Эти зависимости отличаются для отдельных почв и в разных интервалах pH.

Информационная оценка окислительно-восстановительного состояния почв характеризует взаимосвязи окислительно-восстановительного состояния и свойств почв и их изменение по почвенному профилю. Это иллюстрируют данные следующей таблицы 18.

Как видно из представленных данных, с повышением pH содержание водорастворимых Ca, Mg возрастает, содержание Fe – падает. Увеличение Eh приводит к уменьшению содержания водорастворимых Fe, Mn, подвижности ионов (таблица 19).

Таблица 18 - Корреляция pH, Eh и содержания водорастворимых соединений Ca, Mg, Fe в дерново-подзолистых почвах, компостированных в условиях избыточного увлажнения 3 месяца (Eh от -57 до 227 мВ по ХСЭ)

Зависимости	r	F
$\text{Ca} = -124,6 + 21,5 \text{ pH} - 0,09 \text{ Eh}$	0,87	13,8
$\text{Mg} = -130,2 + 23,9 \text{ pH} - 0,07 \text{ Eh}$	0,49	5,7
$\text{Fe} = 7,8 - 0,7 \text{ pH} - 0,01 \text{ Eh}$	0,36	3,0

Таблица 19 - Зависимость подвижности Fe, Mn от pH и Eh среды в дерново-подзолистых почвах, мг/л

pH	Eh	Fe	Mn
6,8±0,1	268,9±23,5	2,1±0,9	18,4±4,9
6,5±0,2	344,2±16,4	0,2±0,1	0,1±0,1

Как видно из представленных данных, с увеличением Eh содержание водорастворимых Fe, Mn уменьшается.

По полученным данным, урожай озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах достигал 40 ц/га, на черноземах – 62 ц/га, зерна кукурузы – 90 ц/га.

Агроэкологическая и экономическая оценка кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния в системе почва-растение.

В проведенных исследованиях показано проявления закона убывающей отдачи при интенсивном ведении сельскохозяйственного производства. В проведенных исследованиях показано его проявление при внесении повышенных доз удобрений на свойства почв, прирост урожая, на качество сельскохозяйственной продукции. По полученным данным, закон убывающей отдачи проявляется при внесении повышенных доз удобрений по изменению свойств почв.

Так, по полученным нами данным, при внесении в дерново-подзолистую почву 15 кг д.в. P_2O_5 величина $\Delta\text{P}_2\text{O}_5$ в почве/ $\Delta\text{P}_2\text{O}_5$ удобрений составила 0,46, а при внесении 23,3 кг P_2O_5 д.в. на 1 га – 0,24.

При увеличении доз N от 45 до 90; P_2O_5 – от 53 до 106; K_2O – от 30 до 72 в обыкновенных черноземах изменение содержания (мг/100г) при внесении 1 кг

НРК составило под озимой пшеницей: N – 0,05 и 0,03; P_2O_5 – 0,53 и 0,27; K_2O – 0,45 и 0,31, отличаясь под разными культурами.

По полученным нами данным, «закон убывающей отдачи» проявляется по уменьшению прироста урожая на 1 ц НРК. Так, при выращивании пшеницы на хорошо окультуренной почве и внесении удобрений на использование растениями 2% ФАР и 3% ФАР отчуждение с урожаем составляло соответственно 29,3 и 25,3 млн. ккал/га, или на 1 ц НРК – 0,39 и 0,22 для благоприятных погодных условий и 0,005 и 0,002 – для плохих погодных условий.

При применении под озимую пшеницу на обыкновенных черноземах по 30 и по 120 кг НРК коэффициент чистой эффективности составлял соответственно 5,5 и 4,5.

При применении повышенных доз минеральных удобрений закон убывающей отдачи проявляется и по изменению биохимического состава растений.

Глава 9. Приемы управления кислотно-основным и окислительно-восстановительным состоянием почв

По полученным данным, для определенных групп почв характерны свои показатели $\Delta Eh/\Delta W$; $\Delta pH/\Delta W$ в заданных интервалах влажности и $\Delta Eh/\Delta t^0$; $\Delta pH/\Delta t^0$ в заданных интервалах температур.

При рассмотрении сезонной динамики кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв показана перспективность оценки величин $\Delta Eh/\Delta t, \Delta W$ и $\Delta pH/\Delta t, \Delta W$, в т.ч. с построением 3-координатных графиков. Эти показатели характерны для отдельных почв, определенных почвообразовательных процессов и характеризуют степень окультуренности и деградации почв.

Полученные экспериментальные данные показали, что вышеуказанные зависимости зависят не только от климатических условий, но и от сочетания свойств почв, их расположения по рельефу, типов водного режима.

В проведенных исследованиях показана перспективность оценки оптимальных свойств почв с использованием принципов обратной связи.

При добавлении в суспензию почв $Ca(OH)_2$ содержание CO_2 у растений в межклетниках и устьичное сопротивление уменьшились, интенсивность фотосинтеза и транспирация возросли.

В нижеследующей таблице приведены данные о влиянии на параметры фотосинтеза внесения в суспензию кислой дерново-подзолистой почвы $Ca(OH)_2$ (таблица 20).

Таблица 20 - Влияние внесения в почву $Ca(OH)_2$ на фотосинтез растений, развивающихся на дерново-подзолистой почве

Вариант	Содержание CO_2 , ppm	Устьичное сопротивление, сек/ом	Интенсивность фотосинтеза, ммоль/ m^2 в сек	Транспирация, ммоль/ m^2 в сек
контроль	382,4	54,9	0,9	0,2
+ $Ca(OH)_2$	308,8	40,1	1,6	0,3

Перспективным, с нашей точки зрения, методом оценки обеспеченности растений элементами питания является система обратной связи, основанная на внесении изучаемого элемента в суспензию почв, на которой развиваются растения – идентификация ответной реакции растений по параметрам фотосинтеза. Используя разные дозы внесения изучаемого элемента, можно установить оптимальные пределы его содержания в почве.

Таким образом, для уточнения обеспеченности почв элементами питания целесообразна корректировка существующих градаций с учетом гранулометрического и минералогического состава, взаимосвязей свойств почв, содержания биофильных элементов на единицу плотности заряда сорбционных мест, с учетом скорости протекающих реакций и депонирующей способности почв.

Важное агроэкологическое значение имеет разработка новых способов оптимизации кислотно-основного состояния почв.

По полученным нами данным, это может быть достигнуто внесением в почву органических лигандов, образующих комплексы с Ca из CaCO_3 и Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al из ППК. По полученным ранее данным (Савич В.И.), положительное влияние на развитие растений на кислых почвах оказывала и внекорневая подкормка их Са-ДТПА.

Развитие подзолообразования, временного избыточного увлажнения приводят к подкислению почв. Развитие дернового процесса почвообразования способствует нейтрализации почв. Проведенные нами расчеты показали, что при правильном севообороте, грамотной обработке и при оптимальной системе удобрений на дерново-подзолистых почвах при отрицательном балансе по K, Ca, Mg величина pH стабилизируется.

Усиление интенсивности развития дернового процесса обусловлено подтягиванием корневой системой трав Ca, Mg, K из нижних горизонтов в Ап, усилением биохимического выветривания в Ап и переходом Ca, Mg, K из необменного в обменное состояние.

В проведенных нами исследованиях показана возможность регулирования ОВ состояния почв за счет образования комплексных соединений поливалентных катионов с органическими лигандами разлагающихся органических остатков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана система методов, дополняющих оценку кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв с учетом их физико-химических свойств, протекающих процессов и режимов трансформации, миграции и аккумуляции вещества и энергии. По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Исследована результативность оценки окислительно-восстановительных и кислотно-основных свойств почв при определении следующих параметров:

- фракционного состава кислотно-основных и окислительно-восстановительных систем;

- буферной емкости почв в кислотно-основном и окислительно-восстановительном интервалах;
- фактора кинетики;
- депонирующей способности;
- гистерезиса;
- фактора интенсивности;
- комплексообразующей способности, образования гидроксикомплексов;
- содержания оксидантов и антиоксидантов;
- оценки положительно и отрицательно заряженных комплексных соединений катионов;
- оценки цветовой гаммы почв методом компьютерной диагностики, как критерия кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв.

2. Доказана целесообразность использования при оценке содержания подвижных ионов в твердой фазе почв определение депонирующей **их** способности – суммы вытесняемых фракций ионов при многократном, последовательном их вытеснении. Так, при вытеснении из чернозема и дерново-подзолистой почвы Ca, Mg от 100 до 500 мл HCl содержание Ca в 1-й и в 5-й вытяжке составило в черноземе 275 и 14 мг/л, в дерново-подзолистой почве – 280 и 9,0; содержание Mg в черноземе – 214 и 22,5; в дерново-подзолистой почве – 207 и 19,8 мг/л.

3. Показано, что буферная емкость почв в окислительно-восстановительном интервале характеризует способность почв противостоять окислению и восстановлению при смене гидротермических условий. Так, в дерново-подзолистой почве и черноземно-луговой почве окислительно-восстановительная емкость при $E_h = -0,3В$ составляла соответственно 6 и 12 мг-экв/кг; при $E_h = 0В$ соответственно 3 и 8 мг-экв/кг; при $E_h = +0,7В$ - 1 и 4 мг-экв/кг; при $E_h = +1,0В$ – соответственно 2 и 19 мг-экв/кг.

4. Выявлено, что важное агрономическое значение имеет скорость изменения E_h в почвах при затоплении, что позволяет использовать почвы весной и выбор культур для посева, в соответствии с принципами адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Эта величина, оцениваемая в мВ/сутки, меняется в зависимости от продолжительности затопления и температуры почв. Так, в дерново-подзолистой почве при температуре 20° и $18-20^{\circ}$ скорость изменения E_h в мВ/сутки составляла при 14 днях затопления 16,2 и 43,4, при 34 днях затопления – 12,5 и 32,8. В обыкновенном черноземе при 20° и $18-20^{\circ}$ в течение 14 дней затопления эта величина была равна 21,4 и 43,9; в течение 34 дней затопления – 12,2 и 21,6 мВ/сутки.

5. Показана информативность отличия pH и E_h в почве и в прикорневой зоне растений, а также pH и E_h и свойств почв, с ними взаимосвязанных. Развитие анаэробных условий приводит к уменьшению величин E_h почв, увеличению содержания подвижных соединений Fe, Mn, уменьшению содержания в растворе NO_3 . Эти величины являются характерными для отдельных почв. Так, при продолжительности затопления 1 и 15 недель в дерново-подзолистой слабокультуренной почве величина E_h изменилась от 233 до 166 мВ, а NO_3 – от 5,6 до 0,4 моль/л $\cdot 10^{-3}$.

6. Разработана информационная оценка кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв с учетом взаимосвязей в почвах во времени и в пространстве, по профилю почв, в сезонной динамике, в системе почва-растение с использованием математических взаимосвязей и уравнений парной корреляции.

7. Предлагается проводить учет влияния на свойства почв одновременно и pH, и Eh среды с проявлением при взаимодействии процессов синергизма и антагонизма, как в разных интервалах pH и Eh, так и в разных интервалах изучаемых свойств почв. Показана зависимость pH, Eh почв, величин $\Delta Y/\Delta pH$, $\Delta Y/\Delta Eh$, $\Delta pH/(\Delta t^0 \Delta W \Delta t)$ и $\Delta Eh/(\Delta t^0 \Delta t \Delta W)$ от гумусового состояния почв, комплексообразующей способности водорастворимых органических веществ с Ca, Mg, Fe, Mn, Al.

8. Для оценки оптимальных показателей кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв для развития растений предлагается использование систем обратной связи:

- введение элементов в суспензию почв – анализ ответной реакции растений, развивающихся на этой почве, по параметрам фотосинтеза – поиск экстремума;

- выращивание проростков растений в почве – анализ прикорневой зоны почв; выращивание проростков в исследуемой почве – отмывание проростков, а затем проращивание их в питательном растворе – анализ поглощения биофильных элементов из питательного раствора в расчете на 1 м² общей и рабочей поверхности корней.

9. Установлено, что внесение в почву органических остатков, обладающих комплексообразующей способностью, увеличивает растворимость CaCO₃ и увеличивает вытеснение из ППК Fe²⁺, Al³⁺ за счет конкурирующего комплексообразования. Так, в полевом опыте, продолжавшемся 1 год, внесение CaCO₃ привело к увеличению pH в дерново-подзолистой лесной почве в А₁ до 4,4; внесение CaCO₃ + помет – до 7,4; внесение CaCO₃ + сено – до 6,0.

10. По полученным данным, оптимизация pH почв может быть достигнута за счет усиления интенсивности дернового процесса почвообразования. Так, на дерново-подзолистых почвах при однократном внесении извести по 1,5 гидролитической кислотности в 5-польном полевом севообороте величины S и pH за 5 ротаций севооборота не изменились, составляя в 1 и 5 ротации S – 134 и 146 мг-экв/кг, pH = 5,9 и 5,8.

11. Внесение в оглеенные почвы окислителей позволяет увеличить Eh почв, содержание в них NO₃ и улучшить условия развития растений. Так, в дерново-подзолистой почве после 14 дней затопления в контрольном варианте и после внесения KNO₃ величина Eh составляла соответственно -235 мВ и 105; рNO₃ – 4,0 и 2,0; вес стеблей культуры биотеста – 1,1 и 3,1 г. В черноземе в контрольном варианте и после внесения KNO₃ величина Eh составляла соответственно -105 мВ и 170; рNO₃ – 3,0 и 2,0; вес стеблей биотеста – 0,9 и 1,4 г.

12. Установлена необходимость регулирования системы почва-растение с учетом степени проявления закона убывающей отдачи с экономической и эколо-

гической точек зрения. Показано, что закон убывающего плодородия проявляется не только по уменьшению эффективности затрат на получение высоких урожаев, необеспеченных агроклиматическими условиями и сочетанием свойств почв, но и по уменьшению прироста содержания подвижных форм биофильных элементов в почвах при увеличении доз удобрений, по изменению при этом качества продукции.

13. Разработаны приемы оптимизации кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв, повышения урожайности сельскохозяйственных культур на основе регулирования скорости и интенсивности почвообразовательных процессов. По данным длительных полевых опытов при оптимальных значениях pH и Eh на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах по сравнению со слабоокультуренными почвами урожайность зерновых возросла с 16,2 до 37,8 ц/га, энергоемкость гумуса – со 195-210 до 284-335 млн. ккал/га, энергоемкость почв – с 352 до 517-563 млн. ккал/га, оптимизировались взаимосвязи pH, Eh и содержания подвижных форм биофильных элементов в почвах. На обыкновенных черноземах при оптимизации их свойств урожай зерна озимой пшеницы возрос от 35 до 57 ц/га. Выращивание озимой пшеницы по предшественнику - эспарцету и внесение NPK совместно с навозом повысило урожай зерна пшеницы до 65 ц/га.

14. Для уменьшения проявления закона убывающей отдачи необходима оптимизация всех звеньев системы земледелия, в т.ч. ~~оптимизация~~ и питательного режима, и водно-физических свойств почв, воздушного режима и микробиологической активности почв.

Рекомендации производству

1. Использовать разработанные рекомендации по агротехнике выращивания сортов и гибридов зерновых культур в разных климатических зонах Российской Федерации на дерново-подзолистых почвах и черноземах обыкновенных для получения высоких урожаев и высококачественной продукции с учетом оптимальных характеристик кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв.

2. Рекомендуются использовать предложенные нами рекомендации по оптимизации кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния в системе почва – растение на примере дерново-подзолистых почв и обыкновенных черноземов.

3. Рекомендуются применять для ускоренной оценки кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния в системе почва – растение, а также качества продукции разработанные методики по анализу биологических объектов методом инфракрасной спектроскопии и методом термического анализа.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Савич, В.И. Влияние факторов почвообразования на генезис и эволюцию почв / В.И. Савич, В.Д. Наумов, В.А. Седых, **В.В. Гукалов**, Н.Л. Каменных // Плодородие. - 2023. № 1 (130). - С. 53-56.
2. Савич, В.И. Баланс энергии в звене полевого севооборота на дерново-подзолистых почвах и обыкновенном черноземе / В.И. Савич, **В.В. Гукалов**, В.Д. Наумов, Н.Л. Каменных, К.А. Шмакова, Н.А. Бобоева // Плодородие. - 2023. № 5 (134). - С. 55-59.
3. Байбеков, Р.Ф. Динамика вытеснения катионов из дерново-подзолистых черноземных почв и депонирующая способность к ним как критерий кислотно-основного состояния почв / Р.Ф. Байбеков, С.Л. Белопухов, В.И. Савич, **В.В. Гукалов**, О.И. Сюняева // Агрофизика. - 2023. № 2.- С. 9-13.
4. Савич, В.И. Информационно-энергетическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв, генезис и плодородие почв / В.И. Савич, О.Е. Ефимов, **В.В. Гукалов**, А.Н. Колесник, В.А. Седых, С.А. Беляева // Агро-ЭкоИнфо. 2024. № 1 (61).
5. Савич, В.И. Экологические проблемы развития восстановительных условий в почвах / В.И. Савич, **В.В. Гукалов**, В.Д. Наумов, Н.Л. Каменных, А.М. Поляков, К.А. Шмакова // АгроЭкоИнфо. 2023. № 2 (56).
6. Романенко, А.А. Агроэкологическая оценка плодородия обыкновенных черноземов / А.А. Романенко, С.И. Баршадская, **В.В. Гукалов**, Ф.И. Дерека, Божко Е.П. // АгроЭкоИнфо. 2022. № 2 (50).
7. **Гукалов В.В.** Влияние степени гидроморфизма на кислотно-основное состояние почв / В.В. Гукалов // АгроЭкоИнфо. 2022. № 2 (50).
8. **Гукалов, В.В.** Особенности физико-химических свойств черноземов и их агроэкологическая оценка / В.В. Гукалов, В.И. Савич, В.А. Седых, И.И. Тазин // АгроЭкоИнфо. - 2022. № 2 (50).
9. Савич, В.И. Гумусовое состояние и микробиологическая активность почв избыточного увлажнения / В.И. Савич, В.Д. Наумов, **В.В. Гукалов**, И.И. Тазин, Н.Л. Каменных, А.М. Поляков, А.В. Арешин // АгроЭкоИнфо. 2022. № 3 (51).
10. Белопухов, С.Л., Агроэкологическая оценка черноземов Крыма под культурой лаванды и использование приемов органического земледелия для оптимизации обстановки / С.Л. Белопухов, Р.Ф. Байбеков, В.И. Савич, **В.В. Гукалов** // Аграрная Россия. - 2021. № 2. - С. 42-48.
11. Ефимов, О.Е. Агроэкологическая оценка уплотнения почв / О.Е. Ефимов, В.И. Савич, **В.В. Гукалов**, К.С. Бородина // Плодородие. - 2021. № 1 (118). - С. 54-56.
12. **Гукалов, В.В.** Оценка свойств, процессов и режимов кислотно-основного состояния дерново-подзолистых почв / В.В. Гукалов, В.И. Савич – Текст: электронный // Агроэкоинфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – № 1(43). – С.15 – URL: <http://agroecoinfo.ru/>;

13. Савич, В.И. Агроэкологическая оценка взаимосвязей свойств почв во времени и пространстве / В.И. Савич, **В.В. Гукалов**, А.Е. Сорокин, М.Д. Конах // Бюллетень почвенного института имени В. В. Докучаева. – 2021. – № 106. – С. 163-175;
14. Савич, В.И. Агроэкологическая оценка скорости физико-химических процессов, протекающих в почвах / В.И. Савич, С.П. Торшин, А.Е. Сорокин, **В.В. Гукалов**, В.Н. Рашкович // Агрохимический вестник. – 2021. – № 2. – С. 58 – 62;
15. Сорокин, А.Е. Информационная оценка взаимосвязей в системе почва-растение / А.Е. Сорокин, В.А. Седых, В.И. Савич, А.В. Филиппова, **В.В. Гукалов**, М.Д. Конах // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 1 (379). - С. 17-21.
16. Савич, В.И. Сорбционные свойства корневых систем как критерий корректировки моделей плодородия почв / В.И. Савич, С.Л. Белопухов, **В.В. Гукалов**, О.Е. Ефимов, К.С. Бородин – Текст: электронный // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал – 2021. – №3(45) — С.1–10 – URL: <http://agroecoinfo.ru/>;
17. Савич, В.И. Проблемы агроэкологической оценки плодородия почв / В.И. Савич, С.Л. Белопухов, В.А. Седых, П.Н. Балабко, **В.В. Гукалов** – Текст: электронный // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал – 2021. – № 3(45) – С.1–20 – URL: <http://agroecoinfo.ru/>;
18. **Гукалов, В.В.** Кинетика изменения содержания в почвах водорастворимых форм NO_3 , К, Fe, Mn и Са при создании центров кристаллизации и осадкообразования / В.В. Гукалов, А.Е. Сорокин, В.И. Савич, В.Н. Рашкович // Агрохимический вестник. – 2021. – № 4. – С.72-74.
19. **Гукалов, В.В.** Агроэкологическая оценка почв на примере обыкновенных черноземов Краснодарского края / В.В. Гукалов, С.И. Баршадская, В.А. Седых, В.И. Савич // Агрофизика. - 2021. № 3. - С. 16-19.
20. **Гукалов, В.В.** Изменение эффективности применения минеральных удобрений на черноземах и дерново-подзолистых почвах при неоправданном увеличении их доз / В.В. Гукалов, С.И. Баршадская, А.Е. Сорокин, В.И. Савич, Л. Суккар // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. – №1. – С.83-86;
21. **Гукалов, В.В.** Комплексообразование, как фактор оптимизации кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв / В.В. Гукалов // Плодородие – 2020 - №1 – С. 37-40;
22. Савич, В.И. Интегральная оценка окислительно-восстановительного состояния системы почва-растение / В.И. Савич, С.Н. Смарицын, **В.В. Гукалов**, В.А. Раскатов, А.М. Поляков // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2019. № 4. - С. 19-31.
23. Савич, В.И. Оптимизация обстановки при загрязнении почв и свалок токсикантами / В.И. Савич, В.А. Раскатов, И.И. Тазин, **В.В. Гукалов** // Плодородие – 2019 - №4(109) - С. 52-56;
24. **Гукалов, В.В.** Оценка оптимального кислотно-основного состояния в системе почва - растение по параметрам фотосинтеза растений / В.В. Гукалов,

В.И. Савич, И.И. Тазин, А.А. Бакланова // Плодородие. - 2019. № 1 (106). - С. 35-37.

25. **Гукалов, В.В.** Интегральная оценка кислотно-основного состояния почв / Гукалов В.В., Савич В.И., Панова П.Ю. // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. - №3 (369). – С. 64-68;

26. **Гукалов, В.В.** Почвоутомление под пшеницей на черноземах и каштановых почвах / Гукалов В.В., Савич В.И., Балабко П.Н., Шима М. // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – №6. – С.20-23;

27. Savich V.I. Assessment of optimum soil features and plant compound deficiency using the methods based on feedback principles / V.I. Savich, B.A. Borisov, **V.V. Gukalov** // International Agricultural Journal- 2018- №2 – P. 30-42;

28. Савич, В.И. Агроэкологическая оценка изменения засоления почв во времени и в пространстве / В.И. Савич, В.А. Черников, Н.М. Садуакасов, **В.В. Гукалов** // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – №2 (362). – С.45-48;

29. Савич, В.И. Генетическая и агроэкологическая оценка структуры почв / Савич В.И., Борисов Б.А., **Гукалов В.В.**, Родионова Л.П., Садуакасов Н.М.// Международный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – №3 (363). – С.24-27;

30. Савич, В.И., К вопросу о взаимосвязи почв и поверхностных вод, как компонентов ландшафта / В.И. Савич, С.Л. Белопухов, Г.Б. Подволоцкая, Н.О. Чилингарян, **В.В. Гукалов** // Природообустройство. - 2018. № 1. - С. 76-83.

31. Савич, В.И. Оценка оптимальных свойств почв и недостатка элементов питания для растений с использованием методов на основе принципов обратной связи / В.И. Савич, С.Л. Белопухов, В.А. Седых, Б.А. Борисов, **В.В. Гукалов** // Бутлеровские сообщения. - 2018. Т. 55. № 7. - С. 120-125.

32. Савич, В.И. Локальное протекание почвообразовательных процессов, как фактор корректировки моделей плодородия почв / В.И. Савич, В.Д. Наумов, М.Е. Котенко, **В.В. Гукалов**, В.А. Седых // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 1. – С. 49-53;

33. **Савич, В.И.** Уточнение обеспеченности почв биофильными элементами с учетом плотности заряда сорбционных мест ППК / В.И. Савич, Н.П. Чижикова, В.Г. Витязев, Д.В. Карпова, **В.В. Гукалов** // Плодородие. – 2017. – № 3. – С. 32-34;

34. Савич, В.И. Окислительно-восстановительное состояние почв, как критерий их плодородия / В.И. Савич, **В.В. Гукалов**, А.М. Поляков // Плодородие. 2017. № 6 (99). - С. 22-25

35. Савич, В.И. Процессы, протекающие в почве при внесении органоминеральных удобрений / В.И. Савич, Г. Е. Мерзлая, В.А. Седых, **В.В. Гукалов** // Плодородие. – 2017. – № 4. – С. 29-35;

36. Савич, В.И. Оценка оптимальных свойств почв и недостатка элементов питания для растений с использованием методов на основе принципов обратной связи / В.И. Савич, М.А. Мазиров, Б.А. Борисов, **В.В. Гукалов**, М.Е. Котенко // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 4. – С. 48-50;

37. Писарева А.В. Миграция тяжелых металлов от очага загрязнения в зависимости от взаимосвязей в ландшафте / А.В. Писарева, С.Л. Белопухов, В.И. Савич, Л.П. Степанова, Е.В. Яковлева, **В.В. Гукалов**, И.Г. Шайхиев // Вестник Технологического университета. - 2017. Т. 20. № 6. - С. 160-163
38. Савич, В.И. Влияние вертикальной зональности почв на интенсивность и скорость протекающих почвообразовательных процессов / В.И. Савич, М.Е. Котенко, С.Л. Белопухов, М.Е. Снагинский, Б.А. Мансуров, **В.В. Гукалов** // Вестник Технологического университета. - 2017. Т. 20. № 7. - С. 134-137.
39. Савич, В.И., Оценка метеочувствительной системы почва-растение для корректировки моделей плодородия почв / В.И. Савич, С.Л. Белопухов, Е.М. Ефанова, Н.О. Чилингарян, **В.В. Гукалов** // Бутлеровские сообщения. - 2017. Т. 51. № 8. - С. 39-44.
40. Белопухов, С.Л. Агроэкологическая оценка структуры почв / С.Л. Белопухов, В.И. Савич, Н.М. Садуакасов, К.С. Лось, Е.М. Илюшкова, **В.В. Гукалов** // Бутлеровские сообщения. - 2017. Т. 52. № 12. С. 39-45.
41. Савич, В.И., Влияние эффектов протонирования и гидратообразования на вытеснение марганца за счет комплексообразования из дерново-подзолистых почв / В.И. Савич, С.Л. Белопухов, Г.Б. Подволоцкая, А.А. Бакланова, **В.В. Гукалов** // Бутлеровские сообщения. - 2017. Т. 52. № 12. - С. 46-51.
42. Савич, В.И., Агроэкологическая оценка почвообразовательных процессов / В.И. Савич, Ж. Норовсурэн, Д.Н. Никиточкин, **В.В. Гукалов** // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2016. – № 1. – С. 25-28;
43. Савич, В.И. Агроэкологическая оценка минералогического состава почв / В.И. Савич, С.Л. Белопухов, М.Е. Котенко, **В.В. Гукалов**, П.И. Ильичева, Т.А. Федорова // Вестник Российского университета Дружбы народов. Серия «Агрономия и животноводство». – 2016. – № 3. – С. 30-39;
44. Савич, В.И. Агроэкологические аспекты при выделении гуматов из биомассы растений и органических удобрений. 4. Суспензионный эффект в почвах / В.И. Савич, С.Л. Белопухов, А.Г. Селиванова, М.Д. Конах, **В.В. Гукалов**, И.Г. Шайхиев // Вестник Технологического университета.- 2016. Т. 19. № 1. - С. 135-137
45. Белопухов, С.Л. Агроэкологические аспекты при выделении гуматов из биомассы растений и органических удобрений. 5. Влияние органоминеральных компостов на свойства, процессы и режимы системы почва-растение / С.Л. Белопухов, В.И. Савич, А.И. Бурдакова, **В.В. Гукалов**, В.А. Седых, И.Г. Шайхиев // Вестник Технологического университета. - 2016. Т. 19. № 11. - С. 178-181.
46. Савич, В.И., Агроэкологические аспекты при выделении гуматов из биомассы растений и органических удобрений. 6. Оценка состояния системы почва-растение по их морфологическим признакам / В.И. Савич, С.Л. Белопухов, К.С. Дубонос, **В.В. Гукалов**, М.Е. Котенко, И.Г. Шайхиев // Вестник Технологического университета. - 2016. Т. 19. № 13. - С. 170-173.
47. Габбасова, И.М., Информационно-энергетическая оценка развития эрозии во времени и в пространстве / И.М. Габбасова, В.И. Савич, **В.В. Гукалов** // Вестник Башкирского государственного аграрного университета.- 2016. № 3 (39). - С. 13-19.

Монографии

48. Савич, В.И. Свойства, процессы, режимы мерзлотно-таежных почв // В.И. Савич, О.И. Худяков, В.А. Черников, **В.В. Гукалов**, Д.С. Скрыбина // Москва, изд-во: ВНИИА, РГАУ-МСХА, 2016. – 312 с.
49. Мазиров, М.А. Агроэкологическая оценка геофизических полей / М.А. Мазиров, В.И. Савич, В.А. Седых, Д.Н. Никиточкин, **В.В. Гукалов**, Ж. Тавереш // Москва, изд-во: ВНИИА, РГАУ-МСХА. 2016. – 492 с.
50. **Гукалов, В.В.** Интегральная оценка кислотно-основного состояния почв таежно-лесной и лесостепной зон / Гукалов В.В., Савич В.И. // Москва, изд-во: РГАУ-МСХА, ВНИИА, ООО «Плодородие». – 2019. – 408 с.
51. Савич, В.И. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе / В.И. Савич, В.А. Седых, П.Н. Балабко, С.П. Замана, **В.В. Гукалов** // М., ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА - ООО «Плодородие» - 2020 - 360 с.

Список публикаций в РИНЦ

52. Беспалова Л.А. Сорта и гибриды. Каталог ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» / Л.А. Беспалова, В.М. Лукомец, И.Н. Кудряшов, И.Б. Аблова, А.А. Мудрова, **В.В. Гукалов** и др. // Краснодар, ООО «ЭДВИ». 2025. – 172 с.
53. Беспалова Л.А. Сорта и гибриды. Каталог ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» / Л.А. Беспалова, В.М. Лукомец, А.А. Романенко, О.Ф. Колесникова, Н.Ф. Лавренчук, И.Н., Кудряшов, **В.В. Гукалов** и др. // Краснодар, ООО «ЭДВИ». 2024. – 160 с.
54. Беспалова Л.А. Сорта и гибриды. Каталог. Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко / Л.А. Беспалова, А.А. Романенко, Н.Ф. Лавренчук, И.Н., Кудряшов, **В.В. Гукалов** и др. // Краснодар, Изд-во «ЭДВИ». 2023. – 152 с.
55. Романенко А.А. Сорта и гибриды. Каталог. Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко / А.А. Романенко, Л.А. Беспалова, Н.Ф. Лавренчук, И.Н., Кудряшов, **В.В. Гукалов** и др. // Краснодар, Изд-во «ЭДВИ». 2022. – 152 с.
56. Романенко А.А. Сорта и гибриды. Каталог. Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко / А.А. Романенко, Л.А. Беспалова, Н.Ф. Лавренчук, И.Н., Кудряшов, **В.В. Гукалов** и др. // Краснодар, Изд-во «ЭДВИ». 2021. – 144 с.
57. **Гукалов, В.В.** Сорта пшеницы, тритикале и ячменя каталог / В.В. Гукалов, А.М. Васильева, В.И. Ефременкова, С.В. Новикова, А.Ю. Любченко, Т.В. Останина // Станица Ленинградская, 2020. ОАО «Кубанское полиграфическое объединение». – 52 с.
58. **Гукалов, В.В.** Изменение окислительно-восстановительного состояния почв при резкой смене гидрологического режима / Габбасова И.М., Гукалов В.В., Савич В.И., Гарипов Т.Т. // Экобиотех. – 2019. Т.2. №3. – С.208-213;
59. **Гукалов В.В.** Описание оригинальных сортов пшеницы / В.В. Гукалов, А.М. Васильева, А.Ю. Белякова, В.И. Ефременкова, С.В. Новикова, Т.Н. Петренко, Т.В. Останина // 2018. Станица Ленинградская, ОАО «Кубанское полиграфическое объединение». – 27 с.
60. Savich V.I., Freezing of soil solutions as a factor of the changing properties of soils, their genesis and fertility / V.I. Savich, S.L. Belopukhov, **V.V. Gukalov**,

G.B. Podvolotskaya, S.K. Volkova, T.A. Fedorova // GeoScience. 2017. № 4. С. 60-68.

Список публикаций по материалам конференций

61. **Гукалов, В.В.** Комплексообразующая способность водорастворимых продуктов разложения растительного опада и развитие подзолообразования / В.В. Гукалов, М.Д. Конах // В сборнике: Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова. сборник статей. 2022. С. 371-376.

62. **Гукалов, В.В.** Интегральная оценка кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния системы почва-растение / В.В. Гукалов, В.И. Савич, А.М. Поляков / В книге: Почвы - стратегический ресурс России. Тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв. Отв. редакторы С.А. Шоба, И.Ю. Савин. Москва-Сыктывкар, 2021. С. 78-81.

63. Бабаева, К.С., Агроэкологическая оценка взаимодействия содержания подвижных форм биофильных элементов в почвах со свойствами почв / К.С. Бабаева, В.И. Савич, **В.В. Гукалов**, А.Е. Сорокин // В сборнике: Генетическая и агрономическая оценка почв. Сборник трудов Международной молодежной научной конференции V Вильямсовские чтения. 2020. С. 106-109.

64. Савич, В.И. Информационная оценка плодородия почв / В.И. Савич, С.Л. Белопухов, **В.В. Гукалов**, Н.М. Садуакасов, Д.Н. Никиточкин, В.Ф. Сторчевой // Межвузовский научный конгресс. В сборнике: Высшая школа: научные исследования. сборник научных статей по итогам работы Межвузовского научного конгресса. Москва, – 2020. – С.94-103.

65. Савич, В.И. Интегральная оценка окислительно-восстановительного состояния почв в структуре почвенного покрова / В.И. Савич, А.М. Поляков, А.В. Ермошина, **В.В. Гукалов** // В межвузовском сборнике научных трудов «Экология России на пути к инновациям», Астрахань. – 2019. – Вып. 18 - С.91-94;

66. Белопухов С.Л. Методические рекомендации по анализу биологических объектов методом инфракрасной спектроскопии // С.Л. Белопухов, **В.В. Гукалов**, И.И. Дмитриевская, И.И. Серегина, Р.Ф. Байбеков, Г.С. Браташ, И.И. Тазин, М.В. Григорьева, О.А. Жарких. Под ред. проф. Белопухова С.Л. - М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. - 2021. - 41 с.

67. Белопухов, С.Л. Методические рекомендации по применению метода термогравиметрии для анализа биологических объектов // С.Л. Белопухов, **В.В. Гукалов**, И.И. Дмитриевская, Г.С. Браташ, И.И. Тазин, М.В. Григорьева, О.А. Жарких. Под ред. проф. Белопухова С.Л.- М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. 2019. - 88 с.

68. **Гукалов, В.В.** Методические рекомендации по оптимизации кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния в системе почва – растение на примере дерново-подзолистых почв и обыкновенных черноземов // В.В. Гукалов, С.Л. Белопухов, В.И. Савич, Р.Ф. Байбеков, Г.С. Браташ. / Под ред. проф. Белопухова С.Л. / М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. - 2024. - 44 с.

69. Савич В.И. Свойства, процессы, режимы вещества, энергии, информации в почве / В.И. Савич, **В.В. Гукалов**, И.И. Тазин, Д.С. Аникина // В сборнике международной научной конференции, посвященной 175-летию К.А. Тимирязева «Доклады ТСХА». – Москва, 2019. – С. 583-586.

70. Антоненко, Д.А. Вторичное использование отходов при выращивании кукурузы в условиях аграрного ландшафта / Д.А. Антоненко, **В.В. Гукалов**, Ю.Ю. Никифорова, Г.Ф. Петрик // В сборнике международной научной экологической конференции «Отходы: причины их образования и перспективы использования», Краснодар. – 2019. – С. 634-641.

71. **Гукалов, В.В.** Влияние дернового процесса на кислотно-основное состояние почв / Гукалов В.В., Конах М.Д. // В межвузовском сборнике научных трудов «Экология России на пути к инновациям», Составитель Т.В. Дымова. Астрахань. – 2018. – Вып. 17 - С. 7-11.

72. Алифиров, М.Д., Гуматы из отходов сельскохозяйственного производства и сорных растений / М.Д. Алифиров, **В.В. Гукалов**, К.Г. Мерзликина // В сборнике: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. сборник научных трудов по материалам V Международной научной экологической конференции, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ. 2017. С. 235-237.

73. **Гукалов, В.В.** Создание почв и грунтов с заданными свойствами / М.Д. Алифиров, В.И. Савич, В.В. Гукалов // В сборнике докладов VII съезда общества почвоведов им. В.В. Докучаева и всероссийской с международным участием научной конференции «Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны». – Москва, 2016. – С. 402-403.

74. **Гукалов, В.В.** Информационно-энергетическая оценка кислотно-основного состояния почв / В.И. Савич, В.В. Гукалов, Н.Л. Поветкина, А.Г. Селиванова // В сборнике докладов VII съезда общества почвоведов им. В.В. Докучаева и всероссийской с международным участием научной конференции «Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны». – Москва, 2016. – С. 427-429.

75. Савич, В.И. Оценка интенсивности протекания почвообразовательных процессов и классификация принадлежности почв по их морфологическим признакам, оцениваемым методами компьютерной диагностики / В.И. Савич, **В.В. Гукалов**, К.С. Лось // В сборнике научной конференции, посвященной 80-летию кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами в 100-летней истории Воронежского государственного университета «Чернозёмы центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования», Воронеж. – Воронежский государственный университет. – Воронеж, 2017. – С. 107-111.

76. **Гукалов, В.В.** Интегральная оценка кислотно-основного состояния системы почва-растение / В.В. Гукалов, В.И. Савич // В сборнике V международной научной экологической конференции, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства». - Краснодар, 2017. – С. 231-235.

77. Савич В.И. Развитие подзолообразования в почвах под влиянием растительных ассоциаций / В.И. Савич, В.Д. Наумов, **В.В. Гукалов**, К.Е. Лось, А.А. Даниленко // В сборнике IX международной научно-практической конференции «Экологические проблемы природных и урбанизированных территорий». В сборнике: Экологические проблемы природных и урбанизированных территорий. Материалы IX Международной научно-практической конференции. Составитель Т.В. Дымова. - Астрахань, 2018. – С. 92-98.

78. **Гукалов, В.В.** Общая оценка экологического состояния экосистем ленинградского района / В.В. Гукалов // В сборнике: Совмещенные посевы полевых культур в севообороте агроландшафта. Международная научная экологическая конференция. Под ред. И.С. Белюченко. 2016. С. 381-386.

АННОТАЦИЯ

**ДИАГНОСТИКА НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ СВОЙСТВ ПОЧВ И УПРАВЛЕНИЕ
ПЛОДОРОДИЕМ НА ОСНОВЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО
СОСТОЯНИЯ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ
ГУКАЛОВ ВИКТОР ВЛАДИМИРОВИЧ**

Объект исследования: дерново-подзолистые почвы и обыкновенные черноземы разной степени гидроморфности.

Цель: научное обоснование и разработка интегральной оценки кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв в системе почва – растение.

Основываясь на анализе многолетних исследований:

- теоретически обосновано и практически доказано применение для агроэкологической оценки почв кинетики кислотно-основных и окислительно-восстановительных процессов, депонирующей способности почв, буферности и буферной емкости, фракционного состава соединений, определяющих изучаемые процессы;

- разработаны новые способы оптимизации кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв с учетом информационно-энергетических, агрохимических и физико-химических свойств почв;

- установлено, что оптимумы кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв отличаются в зависимости от агроклиматических условий с учетом критических фаз развития растений, от сочетания свойств почв на разных элементах рельефа и разных горизонтов.

- научно обосновано и предложено использовать разработанные агротехнологические приемы для получения высоких урожаев и качественной продукции с учетом оптимальных характеристик кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния почв.

ANNOTATION

**DIAGNOSIS OF THE DIRECTION OF CHANGES IN SOIL PROPERTIES AND
FERTILITY MANAGEMENT BASED ON THE OXIDATION-REDUCTION STATE OF THE
MAIN SOIL TYPES IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA
GUKALOV VIKTOR VLADIMIROVICH**

Object of the study: sod-podzolic soils and ordinary chernozems of varying degrees of hydromorphism

Objective: scientific substantiation and development of an integrated assessment of the acid-base and redox state of soils in the soil-plant system.

Based on the analysis of long-term research:

- theoretically substantiated and practically proven application for agroecological assessment of soils of kinetics of acid-base and oxidation-reduction processes, depositing capacity of soils, buffering and buffer capacity, fractional composition of compounds determining the studied processes;

- new methods for optimization of acid-base and oxidation-reduction state of soils have been developed taking into account information-energy, agrochemical and physicochemical properties of soils;

- it has been established that the optimum acid-base and oxidation-reduction state of soils differ depending on agroclimatic conditions taking into account critical phases of plant development, from a combination of soil properties on different relief elements and different horizons.

- scientifically substantiated and proposed use of the developed agrotechnological methods for obtaining high yields and quality products taking into account the optimal characteristics of the acid-base and oxidation-reduction state of soils.