

## ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию Гаевой Эммы Анатольевны на тему «Сохранение и воспроизводство плодородия эродированных черноземов Северного Приазовья», представленную на соискание учёной степени доктора биологических наук по специальности 1.5.19 – Почвоведение

### **Актуальность избранной темы**

Проблема снижения почвенного плодородия возникла вместе со сложными процессами освоения земель. Особенно возросла нагрузка на почву в последние десятилетия, обусловленная нарушением основного закона земледелия – возврата почве питательных веществ и энергии, выносимых с урожаем сельскохозяйственных культур. Усугубляется проблема и разрастающимися с каждым годом процессами эрозии. За последние сто лет потеря гумуса в почве составила от 17 до 64 % от исходного, в среднем 25–30 %; за 10 тыс. лет (период землепользования) – около 16 %. В Ростовской области более 48,9 % пашни ежегодно подвергается водной эрозии. Площадь смытых почв составляет около 295,7 тыс. га. Ежегодные потери питательных веществ на пашне Ростовской области, вследствие смыва, составляют: азота 54 тыс. т, фосфора – 70 тыс. т и калия – 524 тыс. т, что превышает их количество, внесённое с удобрениями. Учитывая размеры эродированной пашни на Юге России и в Ростовской области, ставится задача – разработать и изучить севообороты с высокими почвозащитными свойствами и продуктивностью, близкой к продуктивности полевых севооборотов на плакоре. Решить это можно только сочетанием севооборотов необходимой конструкции с наиболее благоприятными для этого системами удобрения и обработки почвы. В связи с этим данная работа является актуальной и практически значимой.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность и достоверность представленных выводов диссертационной работы не вызывает сомнений. Гаевой Э. А. были проработаны и проанализированы теоретические аспекты по теме диссертации, которые базировались на изучении широкого круга литературных источников (390 источника, 102 из которых являются зарубежными). Гаевая Э.А. владеет методиками постановки эксперимента, а также широким спектром методов, которые представлены в диссертационной работе.

### **Достоверность**

Обоснованность и достоверность основных положений научных результатов и выводов диссертационной работы подтверждена большим объемом собранных данных, использованием стандартизированных методов их сбора, обработки, анализа и интерпретации. Достоверность полученного

материала подтверждена статистической обработкой данных с применением программного обеспечения Microsoft Excel и программы Statistica 13.3.

Выдвинутые диссертантом 4 научных положения достаточно обоснованы и соответствуют поставленным целям и задачам исследований, а также раскрыты в представленных главах и в 13 пунктах заключения диссертации.

### **Научная новизна**

Впервые на обыкновенных черноземах на эрозионно-опасном склоне крутизной 3,5-4° изучена эффективность почвозащитного комплекса в длительном полевом опыте. Проведен анализ процессов эрозии в севооборотах различной конструкции, расположенных на склоне, за длительный период, определены потери основных элементов питания в результате процессов деградации. Впервые, на черноземах обыкновенных Ростовской области, рассмотрена экологическая роль севооборотов различной эрозионной устойчивости, систем обработки почвы и удобрений в регулировании водного и пищевого режимов, определены основные показатели изменения плодородия почвы и продуктивности культур при систематическом внесении минеральных и органических удобрений, расширены и углублены знания о водном и пищевом режиме почвы, рассчитан баланс гумуса, элементов питания в севообороте при различных системах удобрения и их эколого-экономическая эффективность. Впервые экспериментально установлены сочетания агрономических и экологических факторов, позволяющих наиболее эффективно применять контурно-полостную систему, а также на основе разработанных технологических элементов – агротехнических, почвозащитных, агрохимических – создать целостную в организационном, агрономическом и экологическом плане ландшафтную систему земледелия. На основании анализа главных компонент впервые были выделены интегральные факторы, вносящие наибольший вклад в дисперсию, и разработана модель параметров почвенного плодородия для чернозема обыкновенного, что позволяет с большей точностью прогнозировать урожайность озимой пшеницы. Также впервые теоретически обоснованы процессы структурообразования в черноземах обыкновенных, показана их роль в предотвращении водной эрозии. Впервые показано, что метод обработки большого массива данных с помощью автоматизированных нейросетевых моделей позволяет делать прогноз динамики процессов эрозии, содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного калия на склоновых землях.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Определены фактические величины стока талых и ливневых вод за длительный период времени, выявлена зависимость между стоком талых и ливневых вод и смывом почвы, количеством осадков и средней температурой периода снеготаяния, что позволяет оценивать вклад севооборотов различной конструкции и способов обработки почвы в сокращение процессов эрозии.

Проведен ретроспективный анализ структурно-агрегатного состава чернозема обыкновенного. Проведенные комплексные исследования изменения за длительный период времени содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного калия, выполненные в рамках единого методологического подхода, с учетом специфики среднеэродированных склонов, являются теоретической основой для создания концепции сохранения и воспроизводства плодородия черноземов обыкновенных.

### **Практическая значимость**

Практическая значимость работы заключается в разработке приёмов сохранения и воспроизводства плодородия чернозема обыкновенного среднеэродированного на склоне крутизной 3,5–4,0° в севооборотах различной конструкции. Для сокращения процессов эрозии предлагается использовать контурно-полосную организацию территории с простейшими гидротехническими сооружениями, почвозащитные севообороты с 20-40 % многолетних трав, чизельную обработку почвы и удобрения в дозе 5 т навоза и  $N_{46}P_{30}K_{30}$ , при отсутствии навоза увеличить дозу минеральных удобрений до  $N_{84}P_{48}K_{48}$  и долю многолетних трав до 40 %.

### **Публикации по теме диссертации, апробация работы**

По теме диссертации опубликовано 171 работа, общим объемом 93,2 п.л. (личный вклад автора 60,2 п.л.), 8 из них – статьи в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и Web of Science, 2 в статьях, входящих в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI), 28 – в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК РФ; 8 монографий и глав монографий, 12 методических рекомендаций производству, а также 2 патента (в соавторстве). Результаты научных экспериментов отражены в годовых отчетах по научно-исследовательской работе отдела земледелия ФГБНУ ФРАНЦ в 2007-2022 гг. и в ежегодных отчетах в Геосети о результатах длительного опыта № 169 в 2019-2022 гг. Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2023-0008 и при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030"), а так же докладывались на Всероссийских и Международных конференциях, съездах и конгрессах.

### **Структура и объем диссертации**

Структура диссертационной работы отображает все этапы выполненной работы и представлена на 357 страницах основного текста и 63 страницах приложения, состоит из 10 глав, содержит 87 таблиц и 70 рисунков, список литературы включает 390 наименований, из них 102 зарубежных источника.

Автореферат в полном объеме отражает содержание и основные выводы представленной работы.

## Оценка содержания диссертации и её завершенность

Во «Введение» обоснованы актуальность, степень разработанности темы, цель и задачи исследований, научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, рабочая гипотеза, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, личный вклад соискателя, методология и методы исследований, степень достоверности и апробация полученных результатов, соответствие темы паспорту специальности, публикации, структура диссертационной работы и благодарности.

**Первая глава** диссертации посвящена обзору отечественной и зарубежной литературы по теме исследований. Показана роль севооборотов и способов обработки почвы в процессах развития деградации и воспроизводстве плодородия. Приводятся данные о влиянии агрофизических свойств почвы на процессы деградации. Рассматривается роль корневых систем в предотвращении процессов эрозии. Анализируются изменения плодородия почвы в результате процессов её деградации. Дан анализ урожайности сельскохозяйственных культур в условиях эрозионно-опасного склона.

**Вторая глава посвящена условиям, объектам, схеме проведения опытов и методике исследований.** Исследования проведены в 1990-2022 гг. в длительном полевом эксперименте по изучению севооборотов, способов обработки почвы и уровней применения удобрений на эрозионно-опасном склоне юго-восточной экспозиции крутизной до 3,5-4° балки Большой Лог Аксайского района Ростовской области. Дана характеристика почвенно-климатических условий. Приведены схемы полевых опытов и агротехника их проведения.

### **Методика проведения исследований и наблюдений.**

Отбор проб, а также лабораторно-аналитические исследования в отобранных образцах выполнялись в соответствии с имеющимися ГОСТами и методическими рекомендациями. Они включали в себя: запас и баланс продуктивной влаги почвы, водопроницаемость почвы, агрегатный состав почвы, плотность сложения, содержание в почве гумуса, органического вещества, поступающего в почву с пожнивными и корневыми остатками, подвижных форм фосфора, калия, N-NO<sub>3</sub> и N-NH<sub>4</sub>, определение массы 1000 зерен и сырой клейковины, ИДК в зерне озимой пшеницы. Выполнена оценка гребнистости почвы и проведено определение стока талой и ливневой воды, запасов воды в снеге, смыва и размыва почвы измерением объема водоростков. Даны формулы для расчета емкости и интенсивности баланса элементов питания.

Статистическая обработка результатов проведена с использованием Microsoft Excel и программы Statistica 13.3 (Stat Soft, Inc. STATISTICA, 2020). Для уменьшения размерности данных был использован анализ главных компонент (РСА). Долгосрочные модели прогноза составлены на основе нейросетевых моделей с использованием программы STATISTICA (2020) –

автоматизированные нейронные сети (АНС). Тип сети при использовании АНС – многослойный персептрон (MLP).

### **Глава 3. Влияние агротехнических приемов на эрозионные процессы в системе контурно-полосной организации территории**

В третьей главе показана динамика стока талой и ливневой воды, а также смыва почвы на эрозионно-опасных склонах в зависимости от конструкции севооборотов, агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур. Представлена зависимость смыва почвы от стока талых и ливневых вод на эрозионно-опасных склонах. Установлено, что на склоне крутизной 3,5–4° имеется тесная зависимость ( $R^2=0,78-0,89$ ) между стоком талых и ливневых вод и смывом почвы. При увеличении стока воды на 1 мм увеличивается смыв почвы на 0,11-0,27 т/га. Контурно-полосная организация территории склона, в зависимости от доли многолетних трав в севообороте, позволяет сократить сток талой и ливневой воды на 33,9-56,3 %, смыв почвы на 35,0-52,5 %. Применение почвозащитной (чизельной) обработки сокращает сток воды на 20,0-23,9 %, смыв – на 13,0-20,6 %.

### **Глава 4. Прогноз развития процессов деградации на эрозионно-опасных склонах черноземов обыкновенных среднеэродированных**

В данной главе представлен долгосрочный прогноз развития эрозионных процессов с использованием автоматизированных нейронных сетей (АНС). Архитектура нейронной сети – многослойный персептрон (MLP), имеющий 32 входных нейрона, от 2 до 6 нейронов на внутреннем слое и 1 нейрон на выходе. Долгосрочный прогноз (проекция временного ряда до 2122 года) с использованием автоматизированной нейронной сети при сохранении существующих условий, выявил общую тенденцию затухания процессов эрозии на склонах крутизной 3,5-4° с различной степенью интенсивности, в зависимости от конструкции почвозащитных севооборотов и способа обработки почвы.

### **Глава 5. Факторы, влияющие на развитие эрозионных процессов**

В пятой главе приведена динамика структурно-агрегатного состояния и водоустойчивость чернозема обыкновенного в зависимости от изучаемых предшественников и агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур. Определены закономерности распределения структурных отдельностей почвы, влияющие на водоустойчивые свойства и приводящие к процессам деградации. Методом главных компонент были выявлены структурные отдельности, вносящие наибольший вклад в почвообразовательный процесс. Дан анализ изменения плотности, водного режима и водопроницаемости чернозема обыкновенного. Представлена динамика накопления снега на склонах и проанализировано влияние ливней на развитие эрозионных процессов почвы. Рассмотрена роль гребнистости вспашки в роли почвозащитного приема. В качестве противоэрозионного аспекта изучена корневая система сельскохозяйственных культур.

## **Глава 6. Влияние агротехнических приемов на показатели плодородия чернозема обыкновенного среднеэродированного в системе контурно-полосной организации территории**

В данной главе представлена динамика гумуса, минерального азота, подвижного фосфора, обменного калия и рН с учетом конструкции севооборотов, удобрений и агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур. Показана положительная роль применения удобрений, введение в структуру севооборота многолетних трав и почвозащитных обработок на агрохимические свойства чернозема обыкновенного.

## **Глава 7. Прогноз динамики содержания гумуса и основных элементов питания на эрозионно-опасных склонах черноземов обыкновенных**

В главе 7 с использованием автоматизированных нейронных сетей (АНС) приведен долгосрочный прогноз (до 2122 года) динамики содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного калия в почве. Данный прогноз подтвердил тенденцию к снижению гумуса, подвижного фосфора и обменного калия без внесения удобрений и присутствием в севообороте чистого пара. Применение удобрений, а также насыщение севооборотов многолетними травами от 20 до 40% способствуют как поддержанию, так и накоплению содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного калия.

## **Глава 8. Баланс гумуса и основных элементов питания в длительном опыте на черноземах обыкновенных среднеэродированных**

В главе 8 показано, что баланс гумуса увеличивается в севооборотах по мере повышения, как доли многолетних трав, так и доз внесения удобрений. Отмечено, что исключение из системы органических удобрений приводит к росту емкости баланса гумуса за счет выноса органического вещества со стоком и смывом и снижением процесса новообразования гумуса. При этом расчет баланса выявил возможность устранения дефицита элементов питания за счет внесения органоминеральных удобрений, сохранения и повышения плодородия в севооборотах при внесении повышенных доз удобрений (навоз КРС 8 т/га + N<sub>84</sub>P<sub>48</sub>K<sub>48</sub>). Емкость баланса или наибольший объем вовлеченных в оборот элементов питания был отмечен в севооборотах с 20 и 40 % многолетних трав.

## **Глава 9. Закономерности формирования продуктивности сельскохозяйственных культур в длительном опыте на черноземах обыкновенных среднеэродированных с помощью севооборотов различных конструкций, доз внесения удобрений и агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур**

В данной главе представлено изменение урожайности сельскохозяйственных культур по различным предшественникам, уровню применения удобрений и способа обработки почвы. Отмечено

превалирующее влияние на урожайность почвенного плодородия, по сравнению с предшественником и способом обработки почвы. Наибольшая окупаемость удобрений была получена при внесении средних доз удобрений. Установлено, что в условиях средней эрозионной опасности наиболее высокая продуктивность отмечена в зерно-травяно-пропашном севообороте с долей многолетних трав 20 % (3,12–4,29 т/га зерн. ед.).

По результатам анализа главных компонент были выделены девять интегральных факторов, оказывающих наибольшее влияние на урожайность озимой пшеницы. На основании выделенных факторов построена модель параметров почвенного плодородия для чернозема обыкновенного. Анализ агрофизических и агрохимических показателей черноземов обыкновенных в пространстве главных компонент (ГК) позволил выделить четыре ГК, характеризующие обратную зависимость агрофизических показателей и влажности почвы, взаимосвязь агрофизических и агрохимических свойств, связь между смывом почвы и гребнистостью поверхности, запасов воды в снеге с водопроницаемостью, зависимость плотности почвы и доли агрегатов размером 0,25–7 мм.

#### **Глава 10. Эколого-экономическая и биоэнергетическая оценка приемов повышения плодородия почвы и продуктивности севооборотов различных конструкций, размещенных на эрозионно-опасных склонах**

В данной главе отмечено, что наиболее высокая биоэнергетическая оценка и эколого-экономический эффект были получены в севообороте с долей многолетних трав 20 %, что обусловлено экономией средств, используемых на восстановление почвенного плодородия, рентабельностью производства (148–154 %) и окупаемостью затрат произведенной продукцией на 2,48–2,54 руб./руб.

На основе анализа диссертационной работы можно заключить, что работа имеет заверченный характер, а научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, обоснованы.

Автореферат полностью соответствует положениям диссертации.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. Стр. 52. В подразделе 2.2. «Методика проведения исследований и наблюдений» на стр. 52 не совсем понятно, на основании чего диссертант отнес к количественным и качественным показателям урожая определение гребнистости, стока талой и ливневой воды, запаса воды в снеге, смыва и размыва почвы, количества органического вещества и расчет экономической и биоэнергетической оценки.

2. Стр. 97. Написано «Таким образом, по принятой классификации структурное состояние чернозема обыкновенного по всем агрофонам характеризуется как хорошее», не указано, чья классификация (автор).

3. Стр. 111. Соискатель приводит размер мелких фракций 1- <0,25 мм, более логично писать <1 мм.

4. Стр. 120. По результатам анализа главных компонент соискатель пишет, что выделил первые три ГК (74,4%), а далее приводит 2 главные компоненты, это ГК1 – 50,2% и ГК2 – 24,2%.

5. Стр. 167, 168. Написано «Общее содержание гумуса...», а также в таблице 44, что не совсем понятно, наверное, диссертант имел ввиду содержание гумуса в нефракционированной почве?

6. Стр. 210, 211. При перечислении основных способов сохранения плодородия почвы не совсем понятно как 2-й и 5-й из перечисленных способов: *«севообороты, имеющие в своей структуре 20 % чистого пара при использовании отвальной обработки почвы и органоминеральных удобрений в дозе: навоз КРС 5 т и  $N_{46}P_{30}K_{30}$  и 8 т навоза КРС и  $N_{84}P_{48}K_{48}$ , имеют отрицательный баланс гумуса (-726; -873; - 967 кг/га)»* и *«исключение из системы удобрений навоза приводит к отрицательному балансу гумуса во всех севооборотах, при использовании как средних ( $N_{46}P_{30}K_{30}$ ) так и повышенных ( $N_{84}P_{48}K_{48}$ ) доз минеральных удобрений»*, способствуют сохранению плодородия почвы?

7. Стр. 252. Написано «Исключение среди непаровых предшественников степени нивелировалось», не совсем понятно, что именно нивелировалось.

8. Стр. 272. При анализе второй главной компоненты (ГК2) диссертант пишет о  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , вместе с этим данные по этим элементам в работе отсутствуют. Желательно было бы включить их при построении модели параметров почвенного плодородия для озимой пшеницы, представленной на стр. 277 в подразделе 9.4, поскольку при насыщении почвенно-поглощающего комплекса кальцием возрастает противоэрозионная устойчивость почв.

9. В работе отсутствует гранулометрический состав почвы, который определяет плотность почвы, агрегатный состав почвы, водопроницаемость и является важной характеристикой при оценке эродированности почвы.

10. Для определения опасности развития эрозии в зависимости от возделываемой культуры, желательно провести вычисление проективного покрытия почвы возделываемых культур входящих в севооборот и размещенных на склонах.

Также в работе встречаются опечатки:

Стр. 100 и 105. В названии таблиц 18 и 19 указано «Динамика агрономически ценных агрегатов, коэффициент водопрочности и средневзвешенные диаметры водостойчивых агрегатов...», при этом в шапке таблицы 18 коэффициент водопрочности обозначен - Кстр, а в таблице 19 как  $K_{\text{ву}}$ .

Стр. 100, 105, 108 в названии таблиц 18, 19 и 21 диссертант указывает, что исследования проведены в конце первой ротации, а в скобках и в графах стоит вторая ротация (II).

Стр. 255 в тексте указана урожайность гороха 1,72-1,72 т/га, а в таблице диапазон урожайности составил 1,72-1,76 т/га.

