

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

КРЮЧКОВ НИКИТА РОМАНОВИЧ

**АНАЛИЗ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ СУБЪЕКТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ МЕТОДАМИ ЭКОЛОГО-
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭРОЗИОННЫХ
ПРОЦЕССОВ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Специальность 1.5.15 (03.02.08) – Экология (биологические науки)
1.5.19 (03.02.13) – Почвоведение (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2022

Работа выполнена на кафедре эрозии и охраны почв факультета почвоведения
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Научный руководитель *Макаров Олег Анатольевич* – доктор
биологических наук, профессор

Официальные оппоненты *Куст Герман Станиславович* – доктор
биологических наук, доцент, отдел физической
географии и проблем природопользования ФГБУН
«Институт географии РАН», главный научный
сотрудник

Голосов Валентин Николаевич – доктор
географических наук, доцент, НИЛ эрозии почв и
руслowych процессов имени Н. И. Маккавеева
географический факультет ФГБОУ ВО
«Московский государственный университет имени
М.В. Ломоносова», ведущий научный сотрудник

Сапожников Пётр Михайлович – доктор
сельскохозяйственных наук, профессор, кафедра
физики и мелиорации почв факультета
почвоведения ФГБОУ ВО «Московский
государственный университет имени М.В.
Ломоносова», ведущий научный сотрудник

Защита диссертации состоится «27» сентября 2022 г. в 17 часов 00 минут на
заседании диссертационного совета МГУ.015.3 (МГУ 03.05) Московского
государственного университета имени М.В. Ломоносова на факультете почвоведения
по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, аудитория М-2.

E-mail: tparamonova@soil.msu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки
МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и также в электронном
виде на сайте ИАС «ИСТИНА»: <https://istina.msu.ru/dissertations/464320146/>

Автореферат разослан _____

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук

Парамонова Т. А.

Актуальность проблемы:

Три четверти почвенно-земельных ресурсов подвержены различным деградационным процессам, и к 2050 г. этот показатель может составить 90 % от общего земельного фонда планеты («Национальный доклад...», 2019). Особенно интенсивно процессы деградации почв и земель протекают в условиях засушливого климата – в аридных регионах. Для указанных территорий характерны такие деградационные процессы, как опустынивание, агроистощение, эрозия, засоление, осолонцевание почв и др. («Методические рекомендации...», 1996).

Специалисты связывают нарастающую деградацию почв аридных территорий как с дальнейшей аридизацией климата («International Food Policy...», 2019), так и с нерациональными системами землепользования в условиях резкого дефицита осадков («Устойчивое развитие...», 2004). В этой связи, особую актуальность представляют эколого-экономические исследования деградации почв в аридных регионах Российской Федерации, позволяющие оценить ущерб, нанесенный их почвенному покрову деградационными процессами, и, соответственно, определить основные направления и стоимость восстановительных (рекультивационных) работ («Эколого-экономическая...», 2016; Молчанов и др., 2017). Одним из таких регионов, является Волгоградская область – важнейшая аграрная территория юга России, 80% площади которой занимают земли сельскохозяйственного назначения.

Цель настоящей работы: провести анализ процессов деградации почв и земель сельскохозяйственного назначения Волгоградской области при помощи различных методов эколого-экономической оценки и моделирования эрозионных процессов.

Поставленная цель определила следующие **задачи:**

1. Осуществить моделирование эрозионных процессов в почвах Волгоградской области при помощи модели RUSLE2 (Revised Universal Soil Loss Equation 2).

2. На основе изучения эродированности, физико-химических и химических свойств оценить деградированность почв и земель агрохозяйства СП «Донское», Калачевского муниципального района и Волгоградской области в целом.

3. Провести апробацию различных методологических подходов к эколого-экономической оценке почв и земель сельскохозяйственного назначения объектов исследования – определения величины ущерба/вреда, нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) и экономики деградации земель (ЭДЗ).

4. Провести сравнительный анализ результатов исследований, полученных при помощи различных подходов к эколого-экономической оценке деградации почв и земель сельскохозяйственного назначения Волгоградской области.

Научная новизна.

На примере Волгоградской области разработана и апробирована для субъекта Российской Федерации комплексная схема эколого–экономической оценки деградации почв и земель, включающая в себя применение нескольких методологических подходов – а) расчет величины ущерба/вреда, позволяющий оценить деградацию в настоящий момент времени, б) определение показателя нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ), отражающий развитие деградационных процессов в динамике, и в) оценка соотношения цены «бездействия» и цены «действия» по отношению к восстановлению деградированных земель, демонстрирующая перспективы текущего землепользования и прогнозирующая рентабельность проектов по восстановлению территории.

При этом впервые показано, что различные методы эколого-экономической оценки позволяют рассчитать сопоставимые площади деградированных контуров на разных иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства территории Волгоградского региона: агрохозяйства, муниципального района и области в целом.

Впервые результаты моделирования эрозионных процессов при помощи модели RUSLE2 (показатель «смыв почв») использовались для оценки ущерба/вреда от деградации почв и земель для агрохозяйства, муниципального района и области.

Продемонстрирована ключевая роль процессов дегумификации почв в увеличении эрозионной нагрузки на почвы на территории Волгоградской области на фоне растущей аридизации климата и зарастания сельскохозяйственных угодий.

В соответствии с результатами исследований сформулированы следующие **защищаемые положения:**

1. Оригинальность предложенной комплексной схемы эколого–экономической оценки деградации почв и земель (последовательно включает расчет величины ущерба/вреда, определение показателя НБДЗ, оценка соотношения цены «бездействия» и цены «действия») определяется возможностью одновременного детального анализа деградационных процессов в почвах и землях в ретроспективе и в настоящий момент времени, а также прогнозирования их в будущем.
2. Значительная степень дегумификации почв агрохозяйства, муниципального района не соответствует тенденции к снижению потенциальной величины смыва почвы, рассчитанной с использованием модели RUSLE2, за период 1980–2010 гг. Указанное противоречие объясняется различием в методиках оценки деградации и величины смыва: степень деградации определяется путем сопоставления с эталонами

(недеградированными аналогами), потенциальная величина смыва – учетом выпадаемых осадков, рельефа, устойчивости почвы к эрозии, характера землепользования и перечня проводимых почвозащитных мероприятий.

3. Дегумификация почв Волгоградской области в целом идет на фоне растущей аридизации климата, снижения количества и интенсивности выпадения осадков, зарастания сельскохозяйственных угодий, а также увеличения эрозионной нагрузки на почвы вследствие снижения противоэрозионной устойчивости почвы.

Практическая значимость. Предложенная комплексная схема эколого–экономической оценки деградации почв и земель должна явиться реальным механизмом разработки систем устойчивого землепользования на различных уровнях административного устройства субъекта Российской Федерации.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на IV Молодежной конференции «Почвоведение: Горизонты будущего» (Москва, 2020), международной научной конференции XXIII Докучаевские молодежные чтения (Санкт-Петербург, 2020), международной научной конференции XXIV «Докучаевские молодежные чтения» (Санкт-Петербург, 2021), международном симпозиуме «International Soil Science Symposium on Soil Science & Plant Nutrition (6th International Scientific Meeting)» (Samsun, 2021), на заседаниях кафедры эрозии и охраны почв (2018-2022).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, из них 1 статья, индексируемая в Web of Science и Scopus; 2 статьи в журналах RSCI Web of Science.

Личный вклад автора. Автор собрал и обобщил литературные данные, организовал и провел полевой выезд на объект исследований, выполнил основную часть лабораторных работ, провел обработку данных, собрал и подготовил материалы для моделирования, адаптировал модель и оценил точность полученных результатов, участвовал в подготовке публикаций по теме исследования. В работе [2], написанной в соавторстве, автором внесен основополагающий вклад. В работе [1] вклад автора составил 0,13 п.л. из 0,64 п.л., в работе [3] 0,18 п.л. из 0,73 п.л., а в работе [4] – 0,26 п.л. из 0,87 п.л.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6-ти глав, выводов, списка литературы и приложений. Материалы работы изложены на 139-ти страницах, содержат 78 таблиц, 65 рисунков, 9 приложений на 145 страницах. Список литературы включает 164 источника, в том числе 113 – на иностранном языке.

Благодарности. Автор работы глубоко признателен руководителю д.б.н., профессору О. А. Макарову за неоценимую помощь в подготовке данной работы, ценные советы и поддержку. Отдельную благодарность автор работы выражает д.б.н., профессору В. В. Демидову, к.э.н. А. С. Строкову, к.б.н. Е. В. Цветнову, к.б.н. М. М. Карпухину, к.г.н. П. Н. Михайлюковой, Н. А. Мараховой, Е. Н. Есафовой, Д. Р. Абдулхановой, Л. Т. Трофименко, Т. М. Гизатуллину, Э. Б. Ашкатову за помощь в подготовке работы. Автор выражает благодарность сотрудникам кафедры эрозии и охраны почв за ценные советы при подготовке диссертации. Автор благодарен к.б.н. А. В. Юдиной, к.б.н. Д. С. Фомину за предоставленную возможность и помощь в организации проведения гранулометрического анализа почв. Автор выражает благодарность к.ф.-м.н. М. Е. Боздагян и к.б.н. Ф. С. Орехову за ценные советы при подготовке диссертации. Автор работы также выражает благодарность членам своей семьи за помощь при подготовке работы и проведения полевых работ, а также за моральную поддержку. Исследование выполнено при поддержке грантов РФФИ № 20–34–90164 Аспиранты и РФФИ № 19–29–05021 мк.

Глава 1. Представления о деградации почв и земель и методах эколого-экономической оценки.

Деградация земель – это ухудшение экосистемных функций земли, в результате нерационального землепользования (UNCCD, 2016). Деградация земель, является широко распространенной проблемой – ей подвержено примерно 25% от земной поверхности (Lal, 2013). Глобальной проблемой, деградация земель стала начиная со второй половины 20-го века (Nkonya et al., 2011).

К настоящему времени сформировались три главных подхода к эколого-экономической оценке деградации почв и земель.

1. Экономическая оценка ущерба/вреда от деградации земель через сравнение деградированных и эталонных почв. Данный подход широко распространен в РФ: разработаны шкалы деградации и загрязнения почв и земель, опирающиеся на представления об устойчивости экосистем к внешней нагрузке, о допустимых уровнях изменений качества окружающей среды и ее отдельных компонентов («Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель», Минприрода России, Роскомзем, Минсельхозпрод, 1995; Яковлев, Евдокимова, 2011). К наиболее распространенным методам оценки относятся - «Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» (Утверждена Роскомземом 10 ноября 1993 г. и Минприродой РФ 18 ноября 1993 г.) и «Методика определения

размеров ущерба от деградации почв и земель» (Утверждена приказом Роскомзема и Минприроды России от 17 июля 1994 г.).

2. Концепция «нейтрального баланса деградации земель» («*Land Degradation Neutrality*» (LDN)). Данная концепция в последние годы активно разрабатывается Конвенцией ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН), вступившей в силу в 1996 году, и представляет собой научную и практическую платформу, способствующую эффективному и рациональному землепользованию. Согласно КБО, нейтральный баланс деградации земель (НБДЗ) – такое развитие земель, при котором их объем и количество, необходимых для поддержания экосистемных функций, стабильны или увеличиваются во времени (Cowie et al., 2018). Основными индикаторами деградации считаются изменения в землепользовании, снижение продуктивности земель и запасов почвенного органического углерода. В настоящее время ведется работа по разработке других национальных индикаторов деградации земель.

3. Концепция экономики деградации земель

В основу данного подхода заложена идея отсутствия единого метода устойчивого управления земельными ресурсами, который можно было бы применять во всем мире. Поэтому предлагается сравнение нескольких сценариев землепользования с учетом прямых и косвенных издержек данных сценариев (Nkonya et al., 2016). Один из сценариев – упрощенный, который рассматривает развитие территории с позиций борьбы против деградации земель (смены землепользования и т. д.), а второй, альтернативный сценарий, соответствует нынешнему землепользованию, и исходит из того, что нерациональные методы управления земельными ресурсами приведут к ухудшению качества экосистемных функций. Данный подход разработан Университетом Бонна и Международным институтом по исследованию продовольственной безопасности (IPFRI).

Глава 2. Объекты и методы исследования.

2.1. Объекты исследования

Объектом исследования являются почвы и земли сельскохозяйственного назначения Волгоградской области. Исследования проводились на 3-х уровнях административно-хозяйственного устройства - Волгоградской области в целом, Калачёвского муниципального района и агрохозяйства СП «Донское» Калачёвского муниципального района. Характеристика объектов исследования приведена в табл. 1.

Таблица 1. Сводная характеристика объектов исследования

Характеристика	СП «Донское»	Калачёвский район	Волгоградская область
Площадь, га	2710	276 231	7 609 942

Характеристика	СП «Донское»	Калачёвский район	Волгоградская область
Климат	Континентальный с жарким летом.		Континентальный с жарким летом и континентальный с теплым летом.
Рельеф	Аккумулятивно-денудационная юго-западная оконечность Приволжской возв.	Восточные склоны Донской гряды и западные склоны Приволжской и Ергенинской возв.	Юго-Восточная часть Восточно-Европейской равнины.
Растительность	Каштановая сухостепная зона, белопопынно-ромашковая подзона.	Зона сухих типчаково-ковыльных бедноразнотравных степей.	Зона степей и сухостепей, а также часть полупустынной зоны.
Почвы	Доминирующими почвами являются каштановые.	В пределах каштановой почвенной зоны.	В пределах двух зон - черноземной и каштановой.

2.2. Методы исследования

2.2.-1. Оценка ущерба от деградации почв и земель

Для определения степени деградации почв использовались современные показатели их физико-химического и физического состояния (перечень показателей почв приведен в табл. 2.).

Таблица 2. Исследуемые показатели

	Хозяйство СП «Донское»	Калачёвский район	Волгоградская область
Показатели	-Подвижный фосфор - Обменный калий - Гумус - Доля Na ⁺ от суммы обменных катионов (осолонцевание) - рН	- Подвижный фосфор - Обменный калий - Гумус - рН	-Подвижный фосфор - Обменный калий - Гумус - рН
По результатам моделирования RUSLE2: величина смыва			

Летом 2019 г., на территории СП «Донское» проводился отбор смешанных проб почвы по регулярной сетке (площадь ячейки 20 га). Схема пробоотбора приведена на рисунке 1. Глубина пробоотбора почв 0–0,2 м. Всего была отобрана 131 проба почвы. Исследуемые показатели определялись по общепринятым методам: содержание подвижных форм фосфора и калия (ГОСТ 26205-91), доля Na⁺ от суммы обменных катионов (ГОСТ 26950-86), рН (Н₂O) (ГОСТ 26423-85), гумус по Тюрину в модификации Никитина с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель (Минеев и др., 2001), гранулометрический состав (Юдина, 2018).

Ранжирование показателей деградации почв и земель проводилось по пятибалльной шкале в соответствии с «Методическими рекомендациями по выявлению деградированных и загрязненных земель» (1996) путем сопоставления с показателями недеградированных аналогов (эталонов) – Табл. 3.

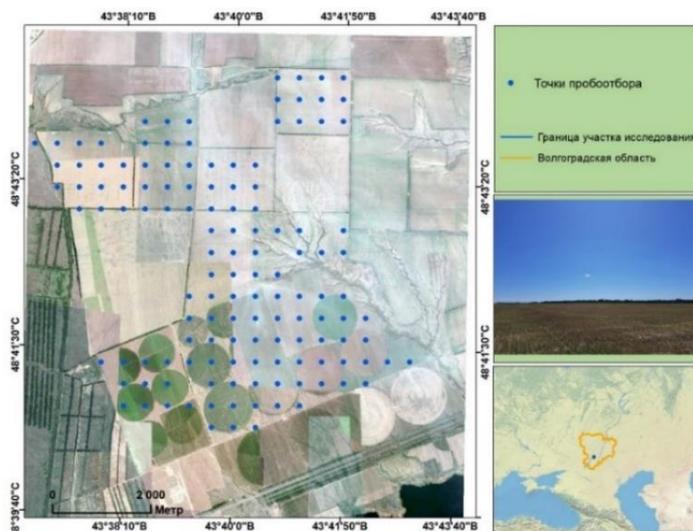


Рисунок 1. Схема пробоотбора почв на территории СП «Донское»

Таблица 3. Определение степени деградации почв и земель по выбранным показателям

Показатель	Степень деградации					Эталон
	0	1	2	3	4	
Потери почвенной массы, т/га/год	<5	6-25	26-100	101-200	>200	-
Уменьшение запасов гумуса в профиле почвы, в % от исходного	<10	11-20	21-40	41-80	>80	Данные 1982 г., (Балашов и др., 1982)
Уменьшение содержания обменного калия, в % от средней степени обеспеченности	<10	11-20	21-40	41-80	>80	201 мг/кг (Минеев., 2004)
Увеличение содержания доли натрия (в % от суммы обменных катионов)	<5	5-10	10-15	15-20	>20	Данные 1982 г., (Балашов и др., 1982)
Изменение степени кислотности в % от средней степени кислотности	<10	11-15	16-20	21-25	>25	Данные обследования, 2019 г.
Уменьшение содержания подвижного фосфора, в % от средней обеспеченности	<10	11-20	21-40	41-80	>80	16 мг/кг (Минеев., 2004)

Расчет ущерба от деградации проводили в соответствии с «Методикой определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (Методика..., 1994):

$$Ущ = Hc \times S \times Kэ \times Kс \times Kп + Dx \times S \times Kв, \quad (1)$$

где: *Hc* – нормативная стоимость участка, руб./га; *Dx* - годовой доход с единицы площади, руб./га; *S* - площадь деградированных почв и земель (га); *Kэ* - коэффициент

экологической ситуации территории; ***K_v*** - коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель; ***K_c*** - коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель; ***K_n*** - коэффициент для особо охраняемых территорий. Данные для расчета степени деградации почв и земель для территории района и области были предоставлены ЦАС «Волгоградский», САС «Михайловская», САС «Камышинская». Степень деградации почв и земель по показателю «смыва» оценивалась по результатам моделирования. Величина ***D_x*** для районов рассчитывалась согласно официальным данным службы федеральной статистики. Величина ***H_c*** определялась по величине кадастровой стоимости в соответствии с Приказом комитета по управлению государственным имуществом Волгоградской области от 27 октября 2015 года N 46-н.

2.2.-2. «Оценка нейтрального баланса деградации земель»

Нейтральный баланс деградации земель (НБДЗ) рассчитывался двумя методами: по стандартной методике и адаптированной. Отличие методов заключается в различном наборе исследуемых параметров. В стандартной методике использовались такие показатели: продуктивность земель, изменения в землепользовании, запасы почв. орг. С. В адаптированной методике – содержание подвижного фосфора, обменного калия, гумуса, доли Na^+ от суммы обменных катионов, рН (H_2O), величина смыва. Для территории района и области показатели доли Na^+ от суммы обменных катионов и рН (H_2O) не использовались. Расчет по стандартной методике осуществлялся только для территории района и области. Кроме того, в различных модификациях методики оценки НБДЗ использовались различные временные интервалы: для стандартной - с 2000 г. по 2015 гг., для адаптированной с 1982 по 2019 гг. Для расчета НБДЗ по стандартной методике использовалась платформа «Trends.Earth», а по адаптированной – данные ЦАС «Волгоградский», САС «Михайловская», САС «Камышинская», «Почвы Волгоградской области» (Жулидова и др..., 1970), и результаты моделирования по модифицированной модели RUSLE2.

2.2.-3. Оценка экономики деградации земель»

В рамках данной работы подход экономики деградации земель (ЭДЗ) был модифицирован. Для расчета сценариев землепользования использовались величина ущерба от деградации почв и земель. Горизонт планирования составил 20 лет. Рассчитывалось два сценария землепользования: сценарий «действия против деградации» (т. е. учитывающий стоимость борьбы с деградацией земель) и сценарий «бездействия» (т. е. не учитывающий никаких мероприятий по борьбе с деградацией

земель). Главным показателем экономической эффективности работ по восстановлению земель выступает соотношение цены «бездействия» и цены «действия». Если оно больше единицы – то имеет смысл бороться с деградацией и наоборот.

2.2.-4. Моделирование величины смыва

Для определения потенциальной величины смыва на территории Волгоградской области и её динамики использовалась модифицированная модель RUSLE2. Для оценки динамики интенсивности смыва моделирование проводилось для двух временных отрезков: 1980-х и 2010-х годов. Согласно модели RUSLE2, величина смыва почвы есть произведение 5 факторов:

$$U = R \times LS \times K \times C \times P \quad (2),$$

где U – смыв почвы, т/га/год; R – эрозионный потенциал осадков, (Мдж*мм)/(га*ч*г); LS – эрозионный потенциал рельефа; K – эрозионная устойчивость почвы, (т*га*ч)/(га*Мдж*мм); C – фактор землепользования; P – фактор почвозащитных мероприятий. В табл. 4 приведены формулы расчета показателей модели.

Таблица 4. Формулы расчета C, P, LS, K, R факторов

Показатель модели	Формула	Значения переменных
R	$R = R_d + R_s \quad (3),$ $R_s = S \times 0,0591 \text{ (Renard, 2013)}$ (4) R_d рассчитывался согласно работе (Naipal et al, 2015). Выбор формулы расчета зависит от типа климата, на исследуемой территории. Для «континентального климата с жарким летом» (D_{fa} по Кёппену) использовалась формула: $\ln R_d = -1,99 + 0,737 \times \ln P + 2,033 \times \ln I \quad (5)$ Для «континентального климата с теплым летом» (D_{fb} по Кёппену) использовалась формула: $\ln R_d = 0,5 + 0,266 \times \ln P + 3,1 \times \ln I - 0,131 \times \ln Z \quad (6)$	R_d – эрозионный потенциал осадков. R_s – эродирующая способность талых вод. S – сумма осадков с декабря по март, мм. $\ln R_d$ – логарифм R-фактора. $\ln P$ – логарифм из среднего годового количества осадков. $\ln I$ – логарифм из индекса интенсивности осадков. I рассчитывается как отношение суммы осадков в год к количеству дней в году с осадками > 1мм. $\ln Z$ – логарифм из значения высоты расположения поста.
LS	$LS = L \times S \quad (7)$ $L_{ij} = \left(\frac{A_{ij-in} + D^2}{D^{m+2} \times X_{ij}^m \times 22.13^m} - A_{ij-in}^{m+1} \right) m \quad (8)$ $m = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (9)$ $\beta = \frac{\frac{\sin \theta}{0.0896}}{[0.56 + 3 \times (\sin \theta)^{0.8}]} \quad (10),$ $S = 10.8 \times \sin \theta + 0.03$, где уклон < 0.09	Рассчитывался согласно (Panagos...2015). A_{ij-in} это площадь ячейки (i, j) измеряемый в м ² . D – размер ячейки (в метрах), $X_{i, j} = \sin a_{i, j} + \cos a_{i, j}$, где $a_{i, j}$ направление граней ячейки (i, j). m это отношение β ручейковой к

Показатель модели	Формула	Значения переменных
	$S = 16.8 \times \sin\theta - 0.5$, где уклон ≥ 0.09	межручейковой эрозии; θ угол наклона в градусах.
C	$C = 0,1 \times \left(\frac{-NDVI+1}{2}\right)$ (Almagro et al, 2019) (11)	NDVI – нормализованный вегетационный индекс.
P	P = 0,43 для 2010-х; P = 0,38 для 1980-х согласно (Литвин и др.,2017).	
K	Рассчитывался в соответствии с (Auerswald, 2014).	

Данные для расчета R-фактора были предоставлены ВНИИГМИ МЦД за 1970-1998 и 1999-2019 года; LS-фактор рассчитывался на основе ЦМР SRTM с 30 м разрешением; C-фактор рассчитывался на основе сцен Landsat за 1984-1988 гг. и 2017-2021 гг.; данные для расчета K-фактора брались из открытых источников (Красная книга..., 2017; ЕГРПР, 2019; Почвенная карта Волгоградской области, 1989; Отчёты Гипроземов за период 1982-1983 гг.). Интерполяция данных проводилась методом регрессии эмпирического байесовского кригинга (РЭБК). Контроль качества интерполяции осуществлялся путём перекрёстной проверки. Обработка результатов исследования проводилась в программах ArcGIS Pro 2.9.2, SAGA 8.1.1, SPSS Statistics 28.0.0.0. Для подготовки картосхем использовалась программа ArcMap 10.8.

Глава 3. Моделирование эрозионных процессов при помощи модели RUSLE2

3.1. Моделирование эрозионных процессов территории СП «Донское»

Статистические характеристики результатов моделирования величины потенциального смыва на территории хозяйства СП «Донское» для 1980-х и для 2010-х годов приведены в табл. 5.

Таблица 5. Некоторые статистические характеристики результатов моделирования для СП «Донское» при помощи RUSLE2 (величина потенциального смыва почвы, т/га/год)

Период	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее арифметическое значение
1980-е	0,02	1,90	0,30
2010-е	0,02	2,13	0,24

Анализ сведений, представленных в табл. 5, позволяет сделать заключение о том, что средняя величина смыва почв агрохозяйства в 2010-е годы снизилась по сравнению с уровнем 1980-х годов приблизительно на 20%, что свидетельствует об уменьшении эрозионной нагрузки на территорию вследствие снижения количества и интенсивности выпадения осадков. Стоит отметить, что на отдельных участках величина смыва увеличилась за указанный период, что может быть связано с дегумификацией почв и последующим снижением их противоэрозионной устойчивости почв.

3.2. Моделирование эрозионных процессов территории Калачёвского района

В табл. 6 представлены результаты моделирования величины потенциального смыва на территории Калачёвского муниципального района для 1980-х и для 2010-х годов.

Моделирование позволило установить, что величина смыва почвы на территории муниципального района в 2010-х годах по сравнению с 1980-тыми годами снизилась на 4%, что свидетельствует о снижении эрозионной нагрузки на исследуемую территорию. Указанное снижение произошло за счет уменьшения количества и интенсивности выпадения осадков, и, как следствие, снижения эрозионного потенциала территории. Кроме того, за это время произошло изменение характера землепользования – пахотные угодья отдельных участков стали зарастать естественной растительностью, что повысило противоэрозионную устойчивость этих участков.

Таблица 6. Некоторые статистические характеристики результатов моделирования для Калачевского муниципального района при помощи RUSLE2 (величина потенциального смыва почвы, т/га/год)

Период	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее арифметическое значение
1980-е	0,02	134,73	0,99
2010-е	0,03	465,12	0,95

3.3. Моделирование эрозионных процессов Волгоградской области.

Результаты моделирования величины потенциального смыва на территории Волгоградской области для 1980-х и для 2010-х годов отражены в табл. 7. Величина смыва почвы на территории области по сравнению с 1980-тыми годами выросла на 16,2%, что говорит об увеличении эрозионной нагрузки на регион.

Таблица 7. Статистические характеристики результатов моделирования для Волгоградской области при помощи RUSLE2 (величина потенциального смыва почвы, т/га/год)

Период	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее арифметическое значение
1980-е	0,01	643,24	1,48
2010-е	0,23	465,12	1,72

Основная причина этого - дегумификация почв, которая привела к снижению их противоэрозионной устойчивости. Стоит отметить, что увеличение величины смыва почвы на территории Волгоградской области произошло на фоне аридизации климата и, как следствие, - снижения количества и интенсивности выпадения осадков и частичного зарастания сельскохозяйственных угодий (факторов, способствующих

снижению эрозионного воздействия). Однако интенсивная потеря гумуса в почвах, произошедшая за описываемые годы, «перекрыла» действие этих факторов.

Полученные в ходе настоящих исследований результаты моделирования по Волгоградской области сопоставлялись с итогами применения модели эрозии почв, разработанной под руководством Г. А. Ларионова (1993) - табл. 8. Указанная модель была применена для данного региона в работе Л.Ф. Литвина с соавторами (2017). Схожие значения величины смыва почв (расхождение данными Л.Ф. Литвина с соавторами составило 12–14%), свидетельствует о высокой степени достоверности проведенных при помощи RUSLE2 исследований.

Таблица 8. Сравнение результатов моделирования при помощи RUSLE2 с результатами Л.Ф. Литвина и др. (2017)

Источник	S угодий, тыс. га, 1980-е	Масса смывой почвы, тыс. т, 1980-е	Разница полученных результатов относительно данных Литвина Л.Ф. и др. (2017), %	Изменение интенсивности смывы, относительно 1980-х к уровню 2010-х, %	Разница полученных результатов относительно данных Литвина Л.Ф. и др. (2017), %
Литвин Л.Ф. и др., 2017	5835,2	9919,8	-	+23,4	-
Крючков Н.Р.	5835,2	8636,1	-12%	+16,2%	-7,2%
	7609,9	11 262,7	+14%		

Глава 4. Оценка ущерба от деградации почв и земель.

4.1. Оценка ущерба от деградации почв и земель СП «Донское».

По результатам оценки степеней деградации почв и земель по исследуемым параметрам можно сделать следующие предварительные заключения (рис. 2):

- по показателю «смыва почвы» деградации на территории агрохозяйства не зафиксировано: все наблюдаемые величины менее порогового значения (5 т/га/год);
- площадь контуров почв, подверженных изменению рН (Н₂О) составляет 12% от общей площади участка (рисунок 2а);
- по показателю уменьшения содержания обменного калия почвы хозяйства деградировали незначительно (около 0,15 % от общей площади подвержено 1-й степени деградации по данному показателю) - рисунок 2б;
- по показателю уменьшения содержания подвижного фосфора почвы агрохозяйства также деградировали незначительно: 1-й степени деградации подвержено 1% от общей площади хозяйства, 2-й степени деградации 0,11 % (рисунок 2в);

- по показателю уменьшения содержания гумуса 55% от общей площади агрохозяйства подвержено деградации (преобладают - 1-я, 2-я и 3-я степени деградации - (рисунок 2г);
- по показателю увеличения доли Na^+ от суммы обменных катионов зафиксирована наибольшая деградация - 69% от общей площади агрохозяйства подвержено деградационным процессам (при том, что 79% от деградированных почв подвержено 4-й степени деградации) – рисунок 2д.

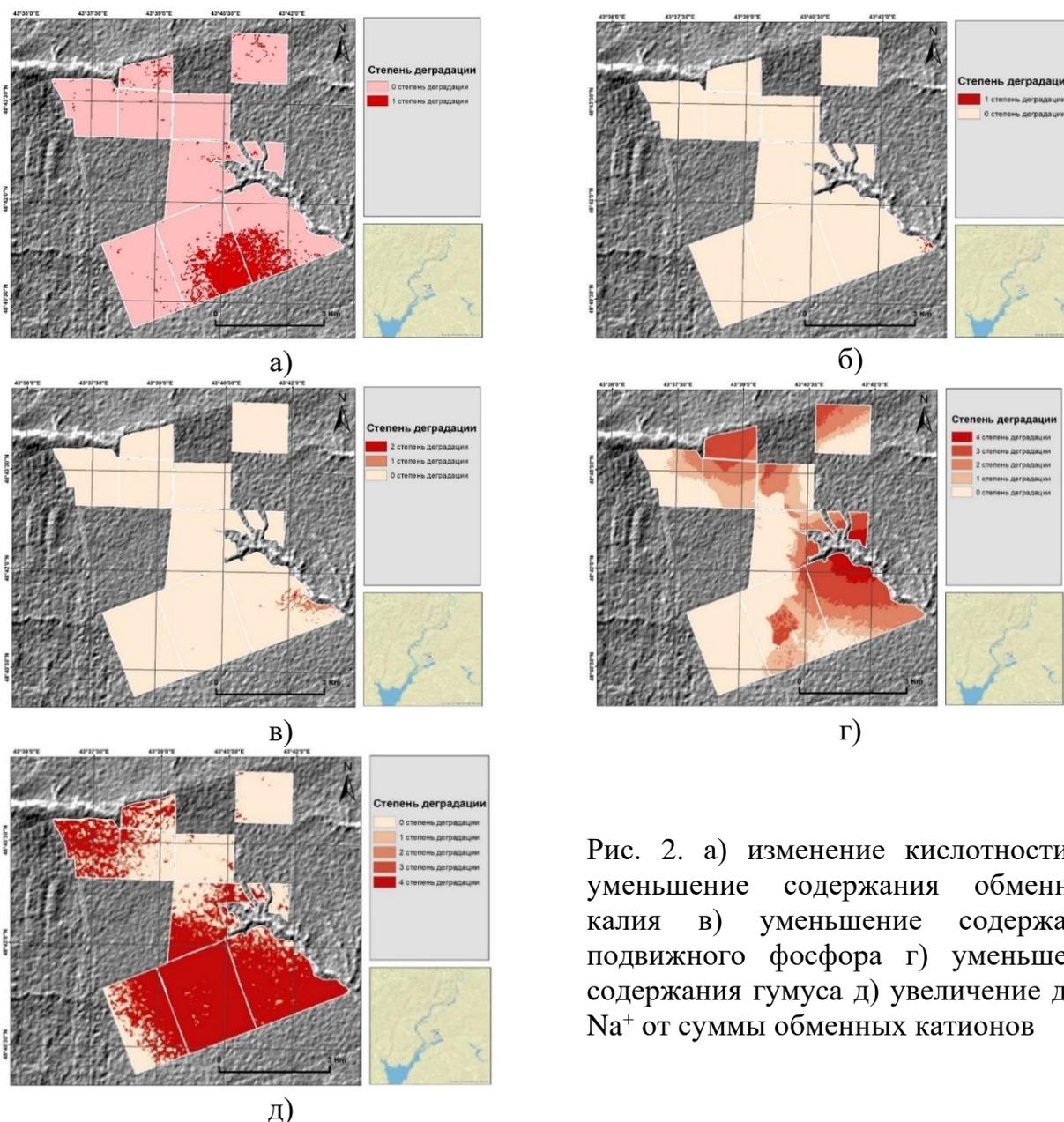


Рис. 2. а) изменение кислотности б) уменьшение содержания обменного калия в) уменьшение содержания подвижного фосфора г) уменьшение содержания гумуса д) увеличение доли Na^+ от суммы обменных катионов

Таблица 9. Значение показателей ущерба от деградации почв на территории СП «Донское»

Процесс	S, га	Ущерб, тыс руб	Удельный ущерб, руб./га	Вклад, %
Осолонцевание	1794	245 948	94 089	74,69
Снижение содержания гумуса	1494	66 019	24 362	20,05
Снижение содержания обменного калия	4	149	55	0,05

Процесс	S, га	Ущерб, тыс руб	Удельный ущерб, руб./га	Вклад, %
Снижение содержания подвижного фосфора	30	1 142	421	0,35
Изменение рН	320	16 029	5911	4,87
Смыв т/га/год	0	0	0	0
Итого	2420	329 289	121 420	100

Суммарная величина ущерба от деградации почв и земель агрохозяйства СП «Донское» Калачёвского района Волгоградской области составила 329 289 749 рублей, что соответствует 121 420 руб./га – табл. 9. Наибольший вклад в эту величину (75%) внес ущерб от деградации почв по показателю увеличения доли Na^+ от суммы обменных катионов, что свидетельствует о значительном развитии для почв данной территории процессов осолонцевания (Сазонов и др., 2020).

4.2. Оценка ущерба от деградации почв и земель Калачёвского района

Результаты расчета ущерба от деградации почв и земель Калачевского муниципального района приведены в таблице 10.

Таблица 10. Значение показателей ущерба от деградации почв и земель на территории Калачевского района Волгоградской области

Процесс	S, га	Ущерб, тыс. руб	Удельный ущерб, руб./га	Вклад, %
Снижение содержания подвижного фосфора	43 600	829 263	3002	29,29
Снижение содержания обменного калия	3 600	80 947	293	2,86
Снижение содержания гумуса	132 400	1534150	5554	54,18
Изменение рН	6 200	100 536	364	3,55
Осолонцевание	6 200	253 986	920	8,97
Смыв почвы	3 054	32 677	118	1,15
Итого	195 054	2831561	10 251	100

Анализ сведений, представленных в табл. 10., позволяет сделать следующие заключения:

- общий вклад в суммарную величину ущерба от процессов снижения обменного калия, изменения рН и смыва почвы составляет 7,56 % от этой величины, что свидетельствует о слабом проявлении этих деградационных процессов на территории муниципального района;
- наибольший вклад в величину ущерба вносит показатель снижения содержания гумуса - 54% от общей величины; удельный ущерб по данному показателю максимален среди других показателей и составляет 5554 руб./га.

4.3. Оценка ущерба от деградации почв и земель Волгоградской области

Расчеты величины ущерба от деградации почв и земель для всей территории области приведены в таблице 11. Анализ сведений, представленных в табл. 11, позволяет отметить, что процессы деградации почв охватывают 71% от общей площади сельскохозяйственных земель Волгоградской области. Самые значительные площади сельскохозяйственных угодий подвержены дегумификации (53% от общей площади). Площадь деградированных контуров по показателю «смыва почвы» составила чуть больше 4% от общей площади сельскохозяйственных земель.

Суммарный удельный ущерб от деградации почв и земель на территории Волгоградской области составил 25 176 руб./га. Наибольший вклад в данную величину внес удельный ущерб от деградации почв по показателю снижения содержания гумуса - 17 814 руб./га.

Таблица 11. Значение показателей ущерба от деградации почв на территории Волгоградской области

Процесс	S, га	Ущерб, тыс руб	Удельный ущерб, руб./га	Вклад, %
Снижение содержания подвижного фосфора	757 588	26 274	3453	13,71
Снижение содержания обменного калия	298 679	14 487	1 904	7,56
Снижение содержания гумуса	4 000 556	135 561	17 814	70,76
Изменение pH	93 000	2 244	295	1,17
Осолонцевание	93 000	6 413	843	3,35
Смыв почвы	315 688	6 602	868	3,45
Итого	5 446 410	191 584 303	25 176	100

В регионе наблюдается четкая тенденция увеличения величины удельного ущерба от деградации с юга на север области, а также с востока на запад (рис. 3). Это может быть связано с тем, что в северо-западной части области преобладают черноземы, которые испытывают наибольшую сельскохозяйственную нагрузку, что ведёт к увеличению риска развития здесь деградационных процессов. Кроме этого, в северо-западных районах наблюдается самая высокая кадастровая стоимость земель, которая используется при расчете величины ущерба от деградации (формула (1)).

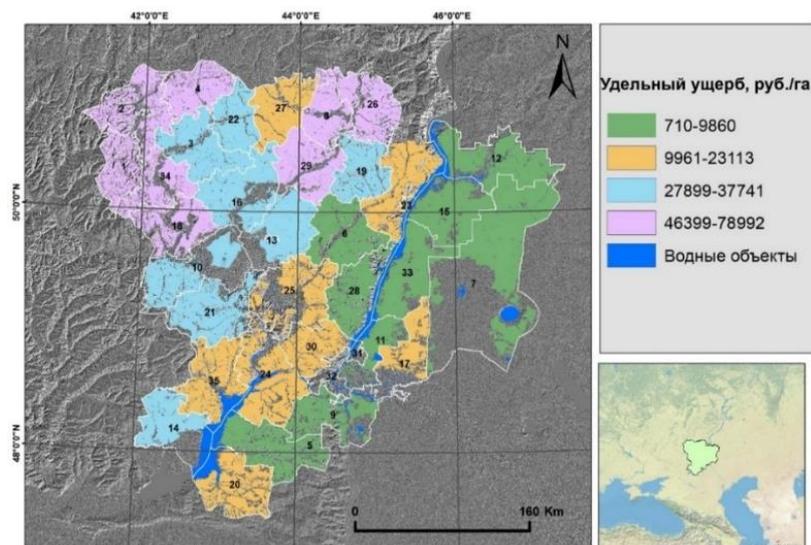


Рисунок 3. Картограмма распределения районов Волгоградской области по величине удельного ущерба от деградации почв и земель

По результатам оценки вклада различных деградационных процессов в суммарную величину ущерба на различных иерархических уровнях исследования (табл. 12) можно сделать следующие заключения:

- доли ущерба от осолонцевания и ущерба от изменения кислотности в суммарном ущербе деградации снижаются в ряду агрохозяйство-муниципальный район-область;
- доли ущерба от снижения содержания подвижного фосфора ущерба от снижения содержания обменного калия, ущерба от дегумификации почв и ущерба от смыва почвы возрастают в суммарном ущербе от деградации в ряду агрохозяйство - муниципальный район - область.

Таблица 12. Оценка вклада различных деградационных процессов в суммарный ущерб на различных уровнях исследования

Деградационный процесс	СП «Донское»	Калачёвский район	Волгоградская область
Снижение содержания подвижного фосфора	0,35	29,29	13,71
Снижение содержания обменного калия	0,05	2,86	7,56
Снижение содержания гумуса	20,05	54,18	70,76
Изменение pH (H ₂ O)	4,87	3,55	1,17
Осолонцевание	74,69	8,97	3,35
СМЫВ ПОЧВЫ	0	1,15	3,45

Глава 5. Оценка нейтрального баланса деградации земель

5.1. Оценка нейтрального баланса деградации земель СП «Донское»

Согласно полученным данным, на территории агрохозяйства наблюдается отрицательный баланс деградации земель: в период с 1982 по 2019 гг. 98,12% от общей площади сельскохозяйственных угодий деградировало, улучшилось только 1,88%,

показатель НБДЗ составил -96,24, что свидетельствует о крайне неустойчивом здесь землепользовании. Наибольший вклад в показатель «деградированных земель» вносят такие параметры, как увеличение доли Na^+ от суммы обменных катионов, уменьшение содержания обменного калия и уменьшение содержания гумуса.

5.2. Оценка нейтрального баланса деградации земель Калачёвского района

Расчеты по стандартной методике выявили крайне негативную тенденцию изменения базовых параметров НБДЗ за период с 2000 г. по 2015 гг.: деградации оказалось подвержено почти 82% от общей площади сельскохозяйственных угодий района, показатель НБДЗ составил -80,28%. При этом основной вклад в последнюю величину вносит показатель «изменение продуктивности».

Согласно адаптированной методике, на землях Калачёвского района зафиксирована проградация (улучшение качества земель) по основным исследуемым показателям: содержанию гумуса, обменного калия, подвижного фосфора, а также по снижению интенсивности смыва: показатель НБДЗ составил 100 %. Данный результат не отражает актуальное состояние землепользования района, так как сведения по трем исследуемым параметрам (содержание гумуса, обменного калия и подвижного фосфора в почве) не содержат пространственной привязки, что не позволяет корректно оценить площадь деградированных земель.

5.3. Оценка нейтрального баланса деградации земель Волгоградской области

Анализ результатов оценки НБДЗ, проведенной по стандартной и адаптированной методикам для сельскохозяйственных угодий Волгоградской области (таблица 13), позволяет сделать следующие предварительные заключения:

Таблица 13. Результаты расчета показателя НБДЗ для территории Волгоградской области по стандартной и адаптированной методикам

Модификация методики	Деградированные земли, % от общей площади	Улучшенные земли, % от общей площади	Показатель НБДЗ
Стандартная методика	67,70	8,85	-58,85
Адаптированная методика	82,89	17,11	-65,78

- обе методики выявили отрицательную динамику изменения сельскохозяйственных земель за период с 2000 г. по 2015 гг. для стандартной модификации (показатель НБДЗ составил -58,85%) и за период с 1982 по 2019 гг. для адаптированной модификации (показатель НБДЗ – -65,78%);
- результаты расчетов по области подтверждают активное развитие деградационных процессов, обнаруженное для агрохозяйства и Калачевского муниципального района.

Глава .6. Оценка экономики деградации земель (применение методики Й. фон Брауна)

Результаты оценки эффективности «действия» и «бездействия» против деградации земель приведены в Таблице 14.

Таблица 14. Оценка эффективности «действия» и «бездействия» против деградации земель для 3-х иерархических уровней организации территории Волгоградской области

Показатель	СП «Донское»	Калачёвский район	Волгоградская область
Стоимость «действия» на период 20 лет	953 410 079	15 056 685 537	719 986 503 244
Стоимость «бездействия» на период 20 лет	2 294 723 972	15 615 271 127	1 070 842 245 866
Соотношение «бездействия» к «действию»	2,41	1,04	1,49

Определение величины соотношения «бездействия» к «действию» показывает экономическую целесообразность проведения мероприятий по борьбе с деградацией почв (для агрохозяйства, муниципального района и области эта величина выше единицы).

Положительный прогноз применения почвозащитных (рекультивационных) мероприятий обусловлен доминированием почв с высоким естественным плодородием, на которых возможно получать высокие доходы от выращивания сельскохозяйственных культур.

Глава 7. Сравнительный анализ различных подходов к эколого-экономической оценке деградации почв и земель

В таблице 15 приведены результаты оценки доли деградированных земель (от общей площади сельскохозяйственных угодий оцениваемой территории), полученные при применении различных методологических подходов - методологии оценки ущерба от деградации почв и методологии НБДЗ.

Таблица 15. Оценка доли деградированных земель (% от общей территории)

Методология эколого-экономической оценки деградации земель	СП «Донское»	Калачёвский район	Волгоградская область
Ущерб от деградации почв и земель	91	71	71
НБДЗ (стандартная модификация)	-	82	68
НБДЗ (адаптированная модификация)	98	0	83

Анализ представленных результатов свидетельствует о высокой степени развития в Волгоградском регионе процессов деградации почв на землях сельскохозяйственного

назначения (табл. 15). Причем эти процессы диагностируются как на сегодняшний момент времени (оценка ущерба/вреда), так и в динамике за обозримый период времени в прошлом (методика НБДЗ). Особенно активно протекают в регионе процессы дегумификации почв.

Методология экономики деградации земель, позволяющая прогнозировать рентабельность проектов по восстановлению территории, показывает позитивные перспективы возможного изменения землепользования для агрохозяйства, Калачёвского муниципального района и целиком для Волгоградской области.

ВЫВОДЫ

1. Установлена тенденция к снижению потенциальной величины смыва почвы, рассчитанной с использованием модели RUSLE2, для агрохозяйства СП «Донское», Калачёвского муниципального района за период 1980–2010 гг. Для Волгоградской области установлена обратная тенденция за период 1980–2010 гг. Использованная модель продемонстрировала сопоставимые результаты с другими исследованиями. Увеличение потенциальной величины смыва на всей территории области, связано с дегумификацией почв.

2. Для оценки деградации почв и земель сельскохозяйственного назначения использовались показатели их агроистощения (снижения содержания гумуса, обменного калия и подвижного фосфора), изменения рН (H₂O), осолонцевания и смыва (последний показатель определялся по результатам моделирования эрозийных процессов при помощи RUSLE2). Степень деградации почв и земель по отдельными показателям варьирует для агрохозяйства СП «Донское» от 0-й (деградация отсутствует) до 4-й (очень высокая), основной вклад в деградацию – процессы осолонцевания; для Калачёвского муниципального района – от 0-й до 4-й, основной вклад в деградацию – снижение содержания гумуса; для Волгоградской области в целом - от 0-й до 4-й, основной вклад в деградацию – снижение содержания гумуса.

3. Максимальная величина удельного ущерба для агрохозяйства СП «Донское» приходится на осолонцевание почв и составляет 94 089 руб./га, для Калачёвского муниципального района и Волгоградской области в целом приходится на уменьшение содержания гумуса в почвах и составляет 5554 руб./га и 17814 руб./га соответственно.

4. А) Расчеты по *базовой методике*, проведенные для периода 2000-2015 гг., выявили, что показатель НДБЗ для Калачёвского муниципального района является одним из самых низких по области, составляя -71,88% (показатель деградации здесь - 73,75%, улучшенных территорий всего 1,86%), показатель НБДЗ для Волгоградской

области в целом также отрицателен и составляет -46,79% (за исследуемый период времени деградировало 60,44% территории области при улучшении всего 10,66%).

Б) Применение *адаптированной методики* для расчета показателя НБДЗ за период 1982-2019 гг. (глобальный индикатор ПОУ заменён на показатель содержания гумуса, использованы данные по содержанию обменного калия и подвижного фосфора, а также – величина смыва почвы, полученная путем моделирования) установили отрицательный баланс деградации земель для агрохозяйства СП «Донское» (98% территории хозяйства деградировало, улучшилось только 2 %) и Волгоградской области (доля деградированных земель составляет 82,89%, улучшенных 17,11% от общей площади). Для территории Калачёвского муниципального района было получено абсолютное преобладание улучшенных почв (100%).

Таким образом, использование концепции нейтрального баланса деградации земель выявляет значительную неустойчивость землепользования в регионе, проявившуюся, как правило, в высокой доле деградированных в период 2000–2015 гг. почв и земель сельскохозяйственного назначения.

5. Применение методики Й. фон Брауна (методология экономики деградации земель) показало целесообразность проведения работ по восстановлению деградированных земель: соотношение «действия» к «бездействию» для всех исследованных иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства территории Волгоградского региона (агрохозяйство-муниципальный район-область) выше единицы.

6. Было установлено незначительное расхождение (7% на уровне хозяйства, 11 % на уровне района и 3% на уровне области) в результатах оценки площадей контуров деградированных почв и земель, полученных различными методами (определение величины ущерба и показателя нейтрального баланса деградации земель в двух модификациях), что может свидетельствовать о корректности проведенных исследований.

Научные статьи, опубликованные в журналах из списков Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальностям 1.5.15 (03.02.08) – экология и 1.5.19 (03.02.13) почвоведение:

1. О. А. Макаров, **Н. Р. Крючков**, А. С. Строков, Цветнов Е. В., Кубарев Е. Н., Абдулханова Д. Р. Оценка ущерба от деградации почв и земель муниципального образования (на примере Калачёвского муниципального района Волгоградской области) // Проблемы агрохимии и экологии. – 2021. – № 1. – С. 43–48. – DOI 10.26178/2117.2021.20.86.008. – IF

РИНЦ 2019: 0,880; (0,64/0,13) (здесь и далее в скобках приведен объем публикации в печатных листах и вклад автора в печатных листах)

2. **N. R. Kriuchkov**, O. A. Makarov. The assessment of soil and land degradation in Volgograd region, the case of agricultural farm Donskoe // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. 2021 Sci. 862 012100 – DOI 10.1088/1755–1315/862/1/012100. – IF SJR 2021: 0,202; (0,52/0,26)

3. Е. В. Цветнов, О. А. Макаров, О. Б. Цветнова, **Н. Р. Крючков**. Опыт совмещенной оценки нейтрального баланса деградации земель Волгоградской области и их эколого-экономического ущерба // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. – № 1. – С. 12–15. – DOI 10.24411/0235-2451-2021-10102 – IF РИНЦ 2020: 1,585; (0,73/0,18)

Другие работы:

4. Makarov O.A., **Kryuchkov N.R.**, Stokov A.S. Measuring the Impact of Land Degradation on Agricultural Output: The Case of the Volgograd Region (Russia). // In: Bogoviz A.V. (eds) The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. 2021 Lecture Notes in Networks and Systems, vol 205. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73097-0_11 (0,87/0,26)

5 работ опубликовано в трудах и материалах российских и международных конференций.

Полный список публикаций на странице соискателя в ИАС «Истина»:

https://istina.msu.ru/profile/nikita_kryuchkov/