

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Куделин Владислав Николаевич

**Эколого-экономическая оценка последствий от деградации почв
и изменения климата для сельского хозяйства региона
Черноземья (на примере Липецкой области)**

1.5.15 – Экология (Биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2024

Диссертация подготовлена на кафедре эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова

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

Официальные оппоненты *Васенев Иван Иванович – доктор биологических наук, профессор, кафедра экологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, заведующий кафедрой*

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

Курганова Ирина Николаевна, – доктор биологических наук, доцент, лаборатория почвенных циклов азота и углерода ИФХИБПП РАН, главный научный сотрудник

Защита диссертации состоится «12» ноября 2024 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета МГУ.015.3 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: paramonovata@my.msu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3044>

Автореферат разослан «10» октября 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат биологических наук

Т.А. Парамонова

Актуальность проблемы

Как известно, для оценки влияния деградации почв и земель и климатических изменений на продукционный потенциал агроэкосистем используются различные эконометрические модели, в том числе основанные на модифицированной функции Кобба-Дугласа (MacCallum, 1967; Walpole, Sinden, Yarr, 1996). Однако неопределённость результатов указанного моделирования может существенно возрастать для сельскохозяйственных угодий, почвы которых характеризуются чрезвычайно высоким уровнем деградации вследствие значительной интенсификации аграрного производства.

К таким территориям в Российской Федерации можно отнести регионы, входящие в состав Центрально-Чернозёмного экономического района. Очевидно, что эффективное изучение взаимозависимостей типа «климат-почва-урожайность» для российских административных регионов возможно при использовании представительных баз данных, включающих почвенно-климатические и экономические показатели отдельных сельскохозяйственных предприятий и муниципальных районов. Построение подобных баз данных может явиться основой для создания региональных эконометрических моделей развития сельского хозяйства, которые позволят дать прогнозные оценки взаимодействия между указанными группами показателей и формировать системы управления устойчивым аграрным развитием территорий.

Цель работы: провести эколого-экономическую оценку последствий для сельского хозяйства Липецкой области от деградации почв и изменения климата.

Задачи:

1. На основе изучения физических, физико-химических и химических свойств почв АО «АгроГард» (Усманского района Липецкой области) оценить степень их деградации и рассчитать величину ущерба от неё, в том числе, – с учетом невыполненных экосистемных сервисов почв.

2. Оценить экономическую эффективность мероприятий по восстановлению деградированных почв Липецкой области в целом, используя методику «действия»/«бездействия» Й. фон Брауна, учитывающую экосистемные сервисы.
3. Рассчитать величину индекса нейтрального баланса деградации земель для территории Липецкой области и её муниципальных районов по стандартной и адаптированной методикам.
4. Разработать базу данных, представленную экономическими, почвенными и климатическими показателями агрохозяйств и муниципальных районов Липецкой области.
5. На основе разработанной базы данных создать эконометрические модели.
6. При помощи экономико-климатической модели IMPACT-3 провести прогнозирование показателей состояния сельскохозяйственного производства Липецкой областей в условиях изменения климата в период до 2050 года.
7. Разработать методологию управления устойчивым развитием сельского хозяйства региона (субъекта) Российской Федерации в условиях деградации почв и изменения климата.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования являются почвы и земли Липецкой области. Предмет исследования – деградация почв и земель Липецкой области в условиях изменения климата.

Методология и методы исследования

Применялись различные методологические подходы: оценка ущерба от деградации, методология «действия/бездействия» по Й. фон Брауну, эконометрическое моделирование с использованием модифицированной производственной функции Кобба-Дугласа, экономико-климатическое моделирование. Работа выполнена с помощью общепринятых методов полевого и лабораторного анализа, дистанционного зондирования, статистической обработки и анализа данных с использованием программного обеспечения QGIS 3.30.1, STATA 11, Microsoft Excel.

Научная новизна

Впервые для региона Российской Федерации разработана интегрированная база почвенных, климатических и экономических данных, на основе которой создана серия эконометрических динамических моделей развития сельского хозяйства, построенных с привлечением модифицированной функции Кобба-Дугласа. Указанные модели позволяют на изучаемом отрезке времени оценивать влияние различных условий на эффективность сельхозпредприятий через показатели урожайности, выхода продукции, рентабельность хозяйств и др. При этом рассмотрены проблемы сбора однородных почвенных данных за продолжительные периоды, которые могут быть решены посредством использования данных отчетности уполномоченных органов и статистики.

Показана возможность обобщенной оценки процессов деградации почв и экономической оправданности инвестиций в восстановление продуктивности земель и поддержку экосистемных услуг региона, входящего в состав Центрально-Чернозёмного экономического района, при помощи методики «действия»/«бездействия» Й. фон Брауна. Для применения указанной методики изучались изменения в характере землепользования и величины NDVI в регионах, произошедшие в 2001–2009 гг. по данным дистанционного зондирования. Уменьшение стоимости земель в течение указанного времени расценивалось как их деградация.

Прогнозирование изменений площадей посевов, валового сбора, урожайности и стоимости валового сбора основных сельскохозяйственных культур в Липецкой области к 2050 году по сравнению с 2010 годом при помощи экономико-климатической модели IMPACT-3 позволило констатировать тот факт, что изменения климата могут благоприятно сказаться на развитии сельского хозяйства в исследуемом регионе.

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

1. Суммарная величина ущерба от деградации почв и земель АО «АгроГард» (Усманский район Липецкой области), рассчитанная по Российской методике 1994 г., представляет собой завышенную величину, которая не согласуется с реальными сметными величинами ущерба, в том числе, с учетом невыполненных экосистемных сервисов.

2. Составлена серия регрессионных уравнений на основе созданной интегрированной базы данных. В базу данных включены показатели состояния почв (агрохимические показатели и показатели, характеризующие проявление эрозионных процессов) муниципальных районов, климатические характеристики (сумма осадков и средняя температура атмосферного воздуха), экономические показатели сельскохозяйственных организаций (урожайность различных культур, выход растениеводческой продукции в стоимостном выражении, рентабельность хозяйств и др.) за период 1995-2008 гг. Серия регрессионных уравнений позволяет на указанном отрезке времени характеризовать развитие сельскохозяйственного производства в субъекте Российской Федерации (Липецкой области).

3. Исследование динамики землепользования и NDVI в Липецкой области в период 2001 – 2009 гг. по данным дистанционного зондирования MODIS показало развитие в этот период деградационных процессов, приведших к снижению величины указанного вегетационного индекса. Проведенная вслед за этим экономическая оценка «действия» и «бездействия» выявила экономическую оправданность инвестиций в восстановление продуктивности земель региона и поддержку экосистемных услуг на 6-летнем и 30-летнем горизонтах планирования.

4. Использование модели IMPACT-3 показывает, что наибольший ожидаемый прирост в площадях посева, урожайности, валового сбора и выручки от реализации последнего в Липецкой области в 2050 г. по сравнению с 2010 г. отмечается для пшеницы, что может свидетельствовать о возможности увеличения в будущем экспорта пшеницы из региона.

Теоретическая и практическая значимость

Эколого-экономическая оценка деградации почв Липецкой в области в условиях наблюдаемого изменения климата может быть применена для создания системы устойчивого землепользования (УЗП) на различных уровнях административного устройства Липецкой области (отдельное агрохозяйство, муниципальный район, регион в целом).

Степень достоверности и апробация работы

Полученные результаты исследований являются оригинальными, их достоверность подтверждена фактическими материалами, собранными во время исследований, а также публикациями в рецензируемых изданиях, входящих в систему RSCI.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на третьей молодежной конференции Почвенного института имени В.В. Докучаева «Почвоведение: Горизонты будущего 2019», а также на Всероссийской научной конференции с международным участием «Природная и антропогенная неоднородность почв и статистические методы ее изучения», посвященной 90-летию со дня рождения Е.А. Дмитриева (2021).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 4 работы в рецензируемых научных журналах, из них: 3 статьи из списков, включенных в Scopus, Web of Science, RSCI, 1 статья из списка журналов, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.5.15 – Экология.

Личный вклад автора

Автор проанализировал и обобщил данные из литературных источников, организовал и осуществил полевые исследования на объекте, сотрудничал с районной администрацией и агрохимической службой, выполнил лабораторные исследования, обработал полученные данные и принял участие в подготовке публикаций по теме исследования.

В работе [1] личный вклад автора составил 0,07 п.л. из 0,46 п.л., в работе [2] – 0,26 п.л. из 0,26 п.л., в работе [3] – 0,16 п.л. из 0,93 п.л., в работе [4] – 0,14 п.л. из 0,87 п.л.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения и выводов, 12 приложений, списка литературы из 96 источников, из которых 28 на иностранных языках. Общий объем диссертации – 164 страницы (из них 19 страниц приложение), диссертация содержит 21 рисунок и 30 таблиц.

Благодарности

Выражаю благодарность своему научному руководителю, профессору, доктору биологических наук Макарову О.А. за помощь в подготовке данной работы и поддержку. Особую благодарность хочу выразить кандидату экономических наук Строкову А.С. и кандидату биологических наук Цветнову Е.В. Также я благодарю сотрудников кафедры эрозии и охраны почв за предоставленные советы на кафедральных заседаниях.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Существующие подходы к эколого-экономической оценке деградации почв и земель в условиях изменения климата

Одним из решений проблемы эколого-экономической оценки деградации почв и земель в условиях меняющегося климата стать использование модифицированной функции Кобба-Дугласа. Как известно, производственная функция Кобба-Дугласа имеет вид (Макаров, Строков, Цветнов и др., 2019) - формула (1):

$$Q = A \times L^{\alpha} \times K^{\beta} \quad (1), \text{ где}$$

Q – объем производства,
 A – технологический коэффициент,
 L – затраты труда,
 K – затраты капитала,
 $\alpha \geq 0$ – коэффициент эластичности по труду,
 $\beta \geq 0$ – коэффициент эластичности по капиталу (Макаров и др., 2019).

При исследованиях, выполненных для фермерских хозяйств в Австралии (Walpole et al., 1996), применялась модифицированная функция Кобба-Дугласа, где к традиционным факторам, влияющим на урожайность, был добавлен показатель площади овражно-балочной сети, таким образом, изменяющиеся показатели климата (также, как и показатели деградации почв) могут быть использованы в моделях. Кроме того, для среднесрочного прогнозирования привлекаются экономико-климатические модели, например, IMPACT-3 (Rosegrant et al., 2012), позволяющая учитывать влияние температуры и осадков, а также качества и состава почв на урожайность через модель DSSAT (Jones et al., 2003).

2. Объекты и методы исследования

2.1. Липецкая область

Территория области характеризуется умеренно континентальным климатом с умеренно теплым летом и сравнительно холодной зимой. Липецкая область входит в Среднерусскую лесостепную провинцию оподзоленных, выщелоченных и типичных среднегумусных и тучных мощных чернозёмов и серых лесных почв. Для почв области характерны следующие деградационные процессы («Природные ресурсы...», 2004): агроистощение, эрозия, техногенная трансформация почвенно-земельных ресурсов, загрязнение. В структуре посевных площадей региона наибольшую долю занимает пшеница, ячмень, подсолнечник, сахарная свекла, кукуруза, рапс и соя.

2.2. Агрохолдинг АО «АгроГард»

Поля агрохолдинга расположены в Усманском районе Липецкой области общей площадью 2061,4 га (рис.1). Преобладающие здесь почвы – черноземы выщелоченные.

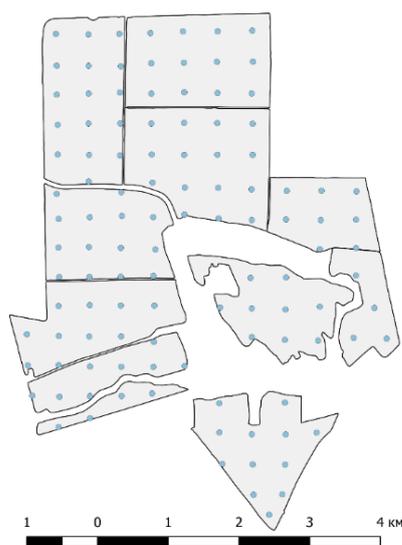


Рис. 1. Схема полей АО «АгроГард» с расположением площадок пробоотбора

На территории хозяйства был проведен отбор 112-ти смешанных проб почв (методической основой послужили «Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель» (1996)). Указанная территория была разделена на квадратные ячейки размером 447 х 447 м. Из каждой ячейки методом конверта с площадки 10 х 10 м смешанные пробы почв отбирались с глубины 0-20 см, а также проводилось измерение плотности сложения почв. В лабораторных условиях по общепринятым методикам были определены рН водной и солевой вытяжек, валовое содержание гумуса (по Тюрину в модификации Никитина), содержание подвижного фосфора и обменного калия по Чирикову, плотность сложения поверхностных горизонтов почв. Оцифровка и подготовка в геоинформационных системах картосхем обеспеченности почв по основным показателям деградации производилась с помощью программного обеспечения QGIS 3.30.1.

3. Оценка степени деградации почв и земель, расчет величины ущерба для АО «АгроГард» (Усманский район)

Для оценки степени деградации изучаемых земель по основным проанализированным агрохимическим показателям были установлены эталонные свойства выщелоченных черноземов. В данном случае, эталоном

выступила модель высокого плодородия выщелоченного чернозема (Савич и др., 2003). Степень деградации почв агрохолдинга определялась в соответствии с «Методическими рекомендациями по выявлению деградированных и загрязненных земель» (1996) – табл. 1.

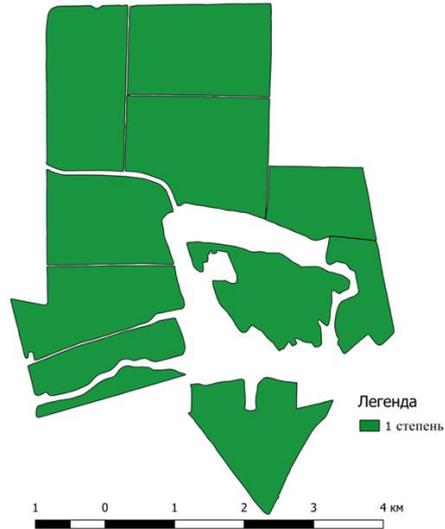
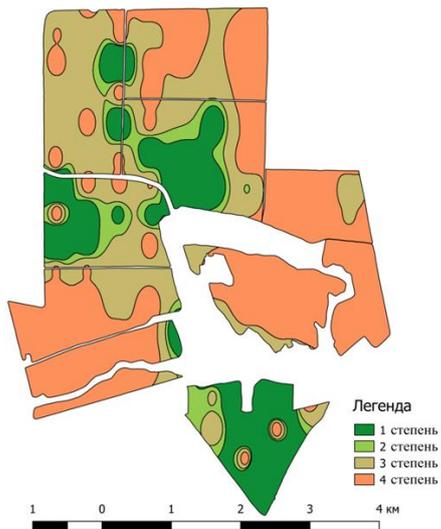
Табл. 1. Площадь деградированных земель АО «АгроГард» по степени их деградации, га

Показатель	Степень деградации			
	1-я степень	2-я степень	3-я степень	4-я степень
Уменьшение сод-я обм. K_2O	-	-	-	-
Уменьшение сод-я подв. P_2O_5	377,6	142,7	603,9	937,3
Уменьшение сод-я гумуса	2028,6	30,2	2,7	-
Увеличения плотности сложения почв	1777,3	266	18,2	-

Анализ расчета степени деградации почв и земель агрохолдинга АО «АгроГард» позволяет сделать следующие выводы:

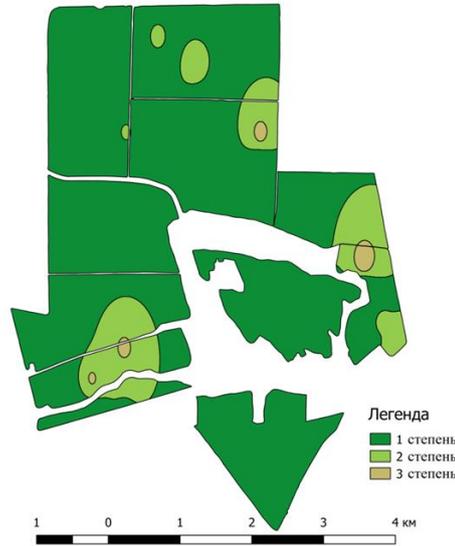
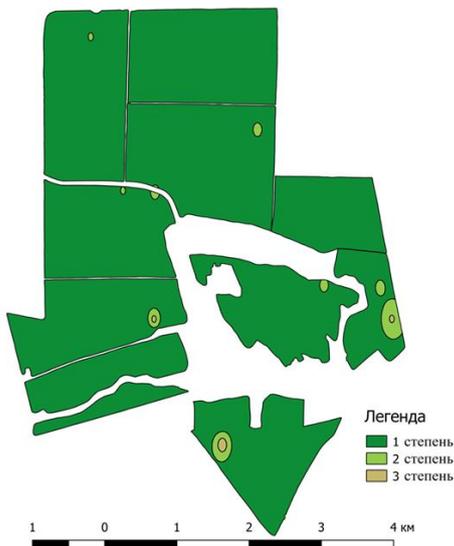
1. Установлена 4-я (высокая) степень деградации по уменьшению содержания подвижного фосфора (рис. 2а).
2. Деградации земель по уменьшению содержания обменного калия не наблюдается (рис. 2б).
3. На 15% от общей площади исследования наблюдается деградация земель по уменьшению содержания органического вещества (рис. 2в).
4. Деградация почв по показателю увеличения плотности сложения может достигать до 3-й (средней) – рис. 2г.

На основе сведений о деградации почв, в соответствии с «Методикой определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994), где использовалась показатель нормативной цены земли на 2019 г., была определена величина ущерба от деградации почв и земель агрохозяйства, составившая 88 млн. 73 тыс. руб. (42,72 тыс.руб./га).



а) уменьшение содержания подвижного фосфора

б) уменьшение содержания обменного калия



в) уменьшение содержания гумуса

г) увеличение плотности сложения

Рис. 2. (а, б, в, г) Картограммы деградации почв и земель АО «АгроГард»

В сметном походе для территории АО «АгроГард» был оценен минимальный комплекс рекультивационных мероприятий, после проведения которых почвы будут обладать характеристиками эталона. В табл. 2 представлен расчет стоимости работ, которая вместе со стоимостью мелиорантов составляет в ценах на 2019 год 11 млн. 19,1 тыс.руб. (5,35 тыс.руб./га). Таким образом, рассчитанная в соответствии со «сметным» подходом стоимость работ по рекультивации земель значительно меньше величины ущерба, определенной по Методике 1994 г.

Табл. 2. Сметные расходы затрат на проведение рекультивации земель АО «АгроГард»

Технологическая операция, условия	Объём работ	Сменная норма выработки	Количество смен	Стоимость проведённых работ в текущих ценах, руб.	
				на 1 единицу	весь объём
Планировка площадей механизированным способом, группа грунтов: 2	2061,4 га	1 га		106,50	219539,1
Перевозка компонентов мелиоранта, самосвал грузоподъёмностью до 15 т, груз 1, 2 класса, расстояние до 100 км	505,17 т	20 т	26	426,71 руб./т.	215561,09
Перевозка наполнителей грунта, автомобиль самосвал грузоподъёмностью до 15 т, груз 1, 2 класса, расстояние до 100 км	658 т	20 т	33	426,71 руб./т.	280775,18
Внесение минеральных удобрений	32,9 га	1 га		1 639,62	53943,5
Внесение органических удобрений	1683,9 га	1 га		624,82	1052134,40
Вспашка, боронование участка рекультивации, трактор среднего или лёгкого класса, зубовые бороны ЗБП-1,0	211 га	1 га		493,54	104136,94
				Всего:	1926090,21

Полная величина ущерба должна включать: стоимость работ по восстановлению земель до исходного состояния (или методическую величину ущерба) и величину упущенной выгоды (Медведева, 2004), согласно формуле (2):

Полный ущерб от деградации земель = Стоимость работ по восстановлению земель + Упущенная выгода (2)

В связи с развитием представлений об экосистемных услугах, формулу (2) нередко преобразуют в формулу (3) (Бондаренко, 2016):

Полный ущерб от деградации земель = Стоимость работ по восстановлению земель/Величина ущерба, рассчитанная по специальной Методике без учета экосистемных услуг + Потери экосистемных услуг почв (включая убытки от неполучения/недополучения урожая) (3)

При оценке потерь экосистемных услуг прямого обеспечения для агрохолдинга АО «АгроГард» сравниваются потенциальные и фактические показатели урожайности и затрат на производство. Разница между этими показателями является потерей экосистемных услуг, обусловленная нерациональным землепользованием.

Был определен реальный доход предприятия, составляющий 26 млн. 136 тыс.руб. Используя расчетные методы оценки потенциальной урожайности в оптимальном севообороте и нормативных затрат, получается, что прибыль от реализации потенциального урожая при оптимальном севообороте и при устойчивом землепользовании составляет 90 млн. 865 тыс.руб., а затраты на основное производство - 56 млн. 742 тыс.руб. Таким образом, потенциальный доход предприятия составил бы 34 млн. 123 тыс.руб.

Следовательно, потеря экосистемных услуг прямого обеспечения от деградации почв на территории агрохозяйства АО «АгроГард» составляет 34 123 тыс.руб. - 26 136 тыс.руб.=7 987 тыс.руб. (3,87 тыс.руб./га).

В табл. 3 результаты расчета полного ущерба от деградации для АО «АгроГард» с учётом потерь экосистемных услуг почв свидетельствуют о том, что величина потерь экосистемных услуг от деградации составляет более 72% от величины стоимости рекультивации земель.

Табл. 3. Оценка полного ущерба/вреда от деградации почв и земель АО «АгроГард»

Способ расчёта величины ущерба/вреда	Удельный ущерб/вред от деградации почв и земель без учёта потерь экосистемных услуг, тыс.руб./га	Удельная величина потерь экосистемных услуг, тыс.руб./га	Удельный ущерб/вред от деградации почв и земель с учётом потерь экосистемных услуг, тыс.руб./га
«Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994).	42,72	3,87	46,59
Общая стоимость работ рекультивации земель (с учётом мелиорантов)	5,35		9,22

4. Оценка экономической эффективности мероприятий по восстановлению деградированных земель Липецкой области

Для применения методики Й. фон Брауна изучались изменения в характере землепользования и величины NDVI в Липецкой области, произошедшие в период 2001 – 2009 гг. В табл. 4 отражена динамика изменения площадей различных видов земель за исследуемый период, из чего следует, что самое значительное сокращение площадей характерно для молодого леса (территории, где 5-10% площади занимают деревья высотой не более 5 м), «переходящего» в лес зрелый – земельные участки, 50-60% площади которых составляют деревья более 2 м высотой. Самый существенный рост обнаружен для угодий, занятых зрелыми лесными массивами.

Результаты расчетов (табл. 5), показывают, что стоимость «бездействия» в Липецкой области выше стоимости «действия» против деградации (на 6-летнем и на 30-летнем горизонтах планирования). Это означает, что восстановление продуктивности земель и поддержка экосистемных услуг экономически оправданы.

Табл. 4. Динамика изменения площадей различных видов землепользования на территории Липецкой области (в период 2001 – 2009 гг.), га

Лес	Кустарник	Пастбища	Посевы с/х культур	Молодой лес	Бесплодные земли	Водные земли
+8 268	+1 271	+328	-3 239	-5 658	-41	-929

Табл. 5. Экономическая оценка деградации земель Липецкой области (стоимость «действия» и «бездействия» против деградации, млрд. долл. США; соотношение стоимости «бездействия» к стоимости «действия», безразмерная величина)

Экономическая оценка деградации земель, с учетом всех экосистемных услуг	0.040	Экономическая оценка деградированных земель, только потери производства сельхозпродукции	0.017	Стоимость «действия» против деградации - за 6 лет	0.118	Стоимость «действия» против деградации - за 30 лет	0.120	Оценка возможностей при текущем землепользовании	0.105	Стоимость «бездействия» против деградации за 6 лет	0.289	Стоимость «бездействия» против деградации за 30 лет	0.625	Соотношение «бездействия» к «действию» за 6 лет	2.44	Соотношение «бездействия» к «действию» за 30 лет	5.21
--	-------	--	-------	---	-------	--	-------	--	-------	--	-------	---	-------	---	------	--	------

5. Расчет индекса нейтральной деградации земель Липецкой области в целом и её муниципальных районов по стандартной и адаптированной методикам

Нейтральный баланс деградации земель (НБДЗ), отражающий современное состояние территорий, рассчитывается путем сравнения базового (исторического) периода с периодом прогресса (периодом сравнения) по **стандартной** и **адаптированной** методикам. Базовым периодом явился промежуток времени с 01.01.2001 по 31.12.2015, а периодом прогресса - с 01.01.2005 по 31.12.2019.

Стандартная методика подразумевает проведение расчетов по трем основным субиндикаторам, рекомендованным UNCCD, - продуктивность земель, изменение наземного покрова, содержание органического углерода в почве. Адаптированная методика расчета индекса НБДЗ заключается в том, что модуль «Trends.Earth» дает возможность включать пользовательские наборы данных, заменяя стандартные. Так, для Липецкой области были добавлены региональные данные о запасе органического углерода в слое почвы 0-30 см.

5.1. Результаты расчета индекса НБДЗ по стандартной методике

Результаты расчета индекса НБДЗ, приведенные в табл. 6 и табл. 7, отражают, в целом, негативную картину состояния земельных ресурсов в Липецкой области: величины этих индексов имеют отрицательные значения и для базового периода 2001-2015 гг. (значение индекса – «-39,1%»), и при сравнении базового периода с периодом прогресса 2005-2019 гг. (значение индекса – «-15,9%»).

Табл. 6. Оценка индекса нейтрального баланса деградации земель для Липецкой области по стандартной методике с помощью «Trends.Earth» (базовый период 2001-2015)

(LDN) Категория деградированности	Площадь земель по категориям, м ²	Доля земель по категориям, %	Индекс НБДЗ, %
Нет данных	125709896,4	-	-39,1
Деградированные	10024839424	41,7	
Стабильные	13275510968	55,2	
Проградированные	627063570,3	2,6	
Общая площадь	24 053 123 858		

Табл. 7. Оценка индекса нейтрального баланса деградации земель для Липецкой области по стандартной методике с помощью «Trends.Earth (базовый период 2001-2015, период прогресса 2005-2019)

(LDN) Категория деградированности	Площадь земель по категориям, м ²	Доля земель по категориям, %	Индекс НБДЗ, %
Нет данных	125709896,4	-	-15,9
Деградированные	6203794086	25,8	
Стабильные	15341235914	63,8	
Проградированные	2382383555	9,9	
Общая площадь	24 053 123 452		

Наиболее низкие значения индекса НБДЗ были зафиксированы для Воловского и Тербунского муниципальных районов («-60,2%» и «-53,5%» соответственно).

5.2. Результаты расчета индекса НБДЗ по адаптированной методике

Величина индекса НБДЗ, рассчитанного по адаптированной методике, существенно выше значений, определённых по стандартной методике и для базового периода, и при сравнении базового периода с периодом прогресса (табл. 8).

Табл. 8. Оценка индекса нейтрального баланса деградации земель для Липецкой области по адаптированной методике с помощью «Trends.Earth (базовый период 2001-2015, период прогресса 2005-2019)

(LDN) Категория деградированности	Площадь земель по категориям, м ²	Доля земель по категориям, %	Индекс НБДЗ, %
Нет данных	158 921 424,4	-	-8,7
Деградированные	6 180 143 850	25,7	
Стабильные	13 632 261 151	56,7	
Проградированные	4 081 989 798	17,0	
Общая площадь	24 053 316 224		

Это означает, что данные по содержанию органического углерода в почвах Липецкой области в слое 0-30 см, «защитые» в модуль «Trends.Earth», являются заниженными по сравнению с реальными результатами агрохимических исследований по измерению этого показателя в почвах.

Отрицательные значения индекса НБДЗ зафиксированы для большинства районов Липецкой области. Положительный баланс деградации земель

наблюдается в Долгоруковском и Задонском муниципальном районах (величины индекса НБДЗ в этих районах составили 63,5% и 67,9% соответственно).

6. Эконометрические модели, созданные на основе базы данных агрохозяйств и муниципальных районов Липецкой области

6.1. Методология создания моделей

На основе модели Кобба-Дугласа были созданы следующие эконометрические модели, которые записывались в линейно-логарифмической форме:

$$Y = f(FERT, CLIM_DYN, SOIL, EROS), (4)$$

где

Y – урожайность кормовых единиц относительно их посевной площади, ц/га;

FERT – стоимость внесенных минеральных удобрений (NPK) на 1 га посевной площади, тыс.руб./га;

CLIM_DYN – данные по климату (годовое количество атмосферных осадков и температура атмосферного воздуха) в динамике;

SOIL – набор почвенных показателей за каждый период агрохимических обследований (подвижный фосфор, обменный калий, органическое вещество, кислотность).

EROS – показатели эрозии почв по муниципальным районам: площадь смытых почв.

$$Q / LAND = f(WORK/LAND, CROP/LAND, CAPITAL / LAND, CLIM_DYN, SOIL, EROS), (5)$$

где

Q/LAND – соотношение выручки от реализации всей с/х продукции к площади с/х угодий агрохозяйства, тыс.руб./га;

WORK/LAND – количество занятых людей в с/х производстве, соотнесенное с площадью с/х угодий агрохозяйства, чел./га;

CROP/LAND – посевная площадь, соотнесенная к площади всех с/х угодий агрохозяйства, га/га;

CAPITAL/LAND – величина используемого в производстве капитала (затраты в производстве за вычетом оплаты труда), тыс.руб./га;

CLIM_DYN – то же, что и в уравнении (4);

SOIL – то же, что и в уравнении (4);

EROS – то же, что и в уравнении (4).

$$Q / COST = f(WORK / COST, LAND / COST, CAPITAL / COST, CLIM_DYN, SOIL, EROS), (6)$$

где

$Q/COST$ – рентабельность с/х производства (выручка/затраты), тыс.руб./тыс.руб.;

$WORK/COST$ – количество занятых людей в с/х производстве, соотнесенное с затратами, чел./тыс. руб.;

$LAND/COST$ – площадь с/х угодий, соотнесенная с затратами на с/х производство, га/тыс. руб.;

$CAPITAL/COST$ – величина используемого при реализации продукции капитала, соотнесенная с затратами с/х производство, тыс.руб./тыс.руб.;

$CLIM_DYN$ – то же, что и в уравнении (4);

$SOIL$ – то же, что и в уравнении (4);

Для проведения расчетов в соответствии с уравнениями (4), (5) и (6) была подготовлена база данных, в которую интегрировались почвенные, климатические и экономические показатели.

В базу данных вошло 3600 экономических и сельскохозяйственных показателей крупных и средних сельскохозяйственных предприятий Липецкой области за период 1995-2008 гг. Использовались показатели валовых сборов и посевов пяти основных культур агрохозяйств области. Стоимостные показатели за каждый год приводились в сопоставимые цены 2008 года с помощью дефляторов.

В сформированную базу данных с/х организаций интегрировались данные по муниципальным районам Липецкой области по почвенным показателям (сайт агрохимической службы региона <https://agrohim48.ru/soils-book-of-lo.html>). Использовались результаты 4-х циклов агрохимического обследования: средневзвешенные значения подвижного фосфора (мг/кг), обменного калия (мг/кг) и гумуса (% к площади пашни района).

В базу данных также были добавлены показатели эрозии почв по районам (Недикова, Масленникова, Бакулина, 2017), среднемесячные и расчетные среднегодовые данные по атмосферным осадкам и температуре атмосферного воздуха метеостанций в с. Конь-Колодезь и г. Елец, размещенные на сайтах NCDC Climate data online и Университета Беркли.

6.2. Анализ результатов в соответствии с уравнениями (4), (5) и (6)

Результаты расчетов в соответствии с уравнениями (4), (5) и (6), приведенные в табл. 9, 10 и 11, показывают, что из климатических данных наиболее сильное влияние на снижение урожайности и выручки агрохозяйств региона оказывает увеличение среднемесячной температуры в трехмесячный период (с мая по июль). Возможно, это связано с глобальным изменением климата, но для проверки этой гипотезы нужны более длинные временные ряды.

Табл. 9. Результаты оценки параметров уравнения урожайности кормовых единиц (4) в агрохозяйствах Липецкой области за период 1995-2008 гг.

Аббревиатура	Показатель	Значение параметра	t статистика	Значимость P > t
FERT	Минеральные удобрения (руб./га)	0,27	33,47	<0,001
K	Средневзвешенное содержание обменного калия в почвах, мг/кг	0,24	2,62	0,009
P	Средневзвешенное содержание доступного фосфора в почвах, мг/кг	0,29	4,50	<0,001
EROS_POTEN	Эрозия почв потенциальная, % от площади с/х угодий административного района	-0,03	-1,78	0,075
TDYN57	Среднемесячная температура за май-июль, F	-1,50	-11,79	<0,001
PREC57	сумма осадков за май-июль, дюйм	-0,14	-6,10	<0,001
CONST	Константа	5,85	8,28	<0,001

Табл. 10. Результаты оценки параметров уравнения выручки от реализованной с/х продукции относительно площади всех с/х угодий (5) в агрохозяйствах Липецкой области за период 1995-2008 гг.

Аббревиатура	Показатель	Значение параметра	t статистика	Значимость P > t
LAB_HA	Количество занятых людей в с/х производстве, соотнесенное с площадью с/х угодий агрохозяйства (чел./га)	0,06	2,86	0,004
CAPIT_HA	Себестоимость проданной с/х продукции на единицу площади с/х угодий, тыс.руб./га	0,72	41,01	<0,001
CROP-HA	Посевная площадь, соотнесенная с площадью всех с/х угодий агрохозяйства, га/га	0,37	11,31	<0,001
H	Средневзвешенное содержание гумуса в почвах, %	-0,64	-5,99	<0,001
K	Средневзвешенное содержание обменного калия в почвах, мг/кг	0,19	1,76	0,078
TDYN_AV	Среднегодовая температура, F	1,25	15,28	<0,001
PRECDYN	Сумма осадков за год, дюйм	0,25	4,60	<0,001
EROS_POTEN	Эрозия почв потенциальная, % от площади с/х угодий административного района	-0,08	-5,08	<0,001
CONST	Константа	-3,21	-5,01	<0,001

Табл. 11. Результаты оценки параметров уравнения рентабельности с/х деятельности (6) в агрохозяйствах Липецкой области за период 1995-2008 гг.

Аббревиатура	Показатель	Значение параметра	t статистика	Значимость P > t
LAB_COST	Количество занятых людей в с/х производстве, соотнесенное с затратами, чел./ тыс. руб.	0,03	2,00	0,046
CAPIT_COST	Себестоимость реализованной продукции на единицу затрат, тыс. руб./тыс.руб.	0,46	25,20	<0,001
LAND_COST	Площадь с/х угодий, соотнесенная с затратами на с/х производство, га / тыс. руб.	-0,20	-22,27	<0,001
TDYN57	Среднемесячная температура за май-июль, F	-0,74	-5,35	<0,001
PRECI57	Сумма осадков за май-июль, дюйм	0,14	6,17	<0,001
EROS_POTEN	Эрозия почв потенциальная, % от площади с/х угодий административного района	-0,06	-6,45	<0,001
CONST	Константа	1,08	2,60	0,009

Из почвенных показателей наиболее устойчивые результаты по статистически значимым параметрам были у среднего содержания обменного калия в почвах (рост содержания обменного калия в возделываемых почвах муниципальных районов Липецкой области способствуют росту урожайности кормовых единиц и росту всей выручки от с/х деятельности).

Показатели содержания гумуса, доступного фосфора в почвах муниципальных районов в большинстве случаев оказались статистически незначимыми, и, следовательно, не влияют на продуктивность пашни и выход с/х продукции.

Показатель потенциальной эрозии почв, наоборот, влияет на уменьшение урожайности и выручки. Следовательно, предприятия области руководствуются разумными предположениями о возделывании почв, и если их почвы деградированы, то они предпочитают интенсифицировать системы земледелия (как правило, за счет увеличения инвестиций) на территориях, почвы которых в меньшей степени подвержены эрозионным процессам.

7. Прогнозные оценки урожайности основных сельскохозяйственных культур Липецкой области с использованием экономико-климатической модели IMPACT-3

Для оценки влияния изменения климата в модели IMPACT – 3 используются климатические сценарии NoCC, HadGEM, IPSL и др., основанные на климатической модели общей циркуляции атмосферы (табл. 12).

Табл. 12. Отличительные особенности составных климатических сценариев IMPACT-3

Модуль	Осадки	Температура
NoCC	const.	const.
HadGEM	-	+
IPSL	+	-

Из полученных результатов моделирования следует, что наибольший ожидаемый прирост в площадях посева (табл. 13), урожайности, валового сбора и выручки от реализации последнего в 2050 г. по сравнению с 2010 г. наблюдается для пшеницы. Данное обстоятельство может свидетельствовать в пользу того, что в будущем экспорт пшеницы из региона может быть увеличен.

Табл. 13. Прогноз изменения площади посевов и урожайности основных с/х культур к 2050 году в сравнении с 2010 годом для климатических сценариев IMPACT-3

Культура	Абсолютные изменения в площади посевов к 2050 году, тыс. га			Относительные изменения в урожайности культур к 2050, раз		
	NoCC	HadGEM	IPSL	NoCC	HadGEM	IPSL
ячмень	-25,4	-40,8	-38,2	2,0	2,6	2,6
пшеница	55,0	65,6	79,1	2,0	2,4	2,7
прочие зерновые	-37,9	-46,3	-49,7	2,0	2,6	2,6
рапс	0,3	0,0	0,1	1,6	1,6	1,6
соя	-0,6	-0,2	-0,4	1,3	1,1	1,3
картофель	-32,6	-31,4	-35,0	1,0	0,9	1,1
подсолнечник (произ-во масла)	-4,8	-4,1	-5,4	1,4	1,3	1,4
подсолнечник	10,7	11,3	10,3	1,5	1,4	1,6
сахарная свекла	23,4	29,2	23,3	1,2	1,3	1,6
кукуруза	7,6	11,7	11,0	1,9	1,3	1,8

Самый значительный прогнозируемый прирост урожайности различных сельскохозяйственных культур характерен для «влажного» сценария IPSL, что показывает принципиальное значение увеличения количества выпадающих

атмосферных осадков в условиях непромывного типа водного режима (по Г.Н. Высоцкому).

8. Методология управления устойчивым развитием сельского хозяйства региона (субъекта) Российской Федерации в условиях деградации почв и изменения климата

Разработанная и апробированная для территории Липецкой области методология управления устойчивым развитием сельского хозяйства региона России в условиях деградации почв и изменения климата включает в себя следующие этапы: а) создание представительных баз почвенно-климатических и экономических данных отдельных с/х предприятий и муниципальных районов с последующей разработкой на их основе региональных эконометрических моделей развития сельского хозяйства, б) среднесрочное прогнозирование социально-экономических показателей с использованием экономико-климатической модели ИМРАСТ-3; в) разработка комплекса почвозащитных и противоэрозионных мероприятий.

Заключение

В ходе исследований была осуществлена эколого-экономическая оценка деградации почв на различных иерархических уровнях административно-территориального устройства Липецкой области (уровень отдельного агрохозяйства, уровень муниципального района, уровень региона в целом). Применялись различные методологические подходы – оценка ущерба от деградации, методология «действия/бездействия» по Й. фон Брауну, эконометрическое моделирование с использованием модифицированной производственной функции Кобба-Дугласа, экономико-климатическое моделирование (модель ИМРАСТ-3).

Выводы

1. Деградация почв и земель агрохозяйства АО «АгроГард» Усманского района Липецкой области была выявлена по следующим параметрам: уменьшение содержания гумуса, подвижного фосфора и увеличение плотности

по сравнению с недеградированным аналогом (моделью плодородия чернозема выщелоченного). Самое высокое значение степени деградации обнаружены для показателей уменьшения содержания подвижного фосфора) (4-я степень).

2. Общая величина ущерба от деградации агрохозяйства АО «АгроГард», рассчитанная в соответствии с «Методикой определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994), составляет 88 млн. 73 тыс. руб. (42,72 тыс. руб./га). Стоимость рекультивации земель, рассчитанная в соответствии со «сметным» подходом в ценах на 2019 год, составляет 11 млн. 19,1 тыс. руб. (5,35 тыс. руб./га).

Потеря экосистемных услуг прямого обеспечения от деградации почв на территории агрохозяйства составляет 7 млн. 987 тыс. руб. (3,87 тыс. руб./га).

3. Исследование динамики землепользования и NDVI в Липецкой области в период 2001 – 2009 гг. по данным дистанционного зондирования MODIS показало развитие деградационных процессов, приведших к снижению величины указанного вегетационного индекса. Проведенная вслед за этим экономическая оценка «действия» и «бездействия» выявила экономическую оправданность инвестиций в восстановление продуктивности земель региона и поддержку экосистемных услуг на 6-летнем и 30-летнем горизонтах планирования. Достаточно высокий уровень современного состояния сельскохозяйственного производства области на практике подтверждает адекватность проведенного эколого-экономического анализа.

4. Величина индекса НБДЗ, рассчитанного по адаптированной методике (являясь отрицательной), существенно выше значений, определённых по стандартной методике и для базового периода (2001-2015 гг.), и при сравнении базового периода с периодом прогресса (2005-2019 гг.). Указанный факт может означать, что данные по содержанию органического углерода в почвах Липецкой области в слое 0-30 см, «защитые» в модуль «Trends.Earth», являются заниженными по сравнению с реальными результатами агрохимических исследований по измерению этого показателя в почвах.

Значения индекса НБДЗ в муниципальных районах Липецкой области, рассчитанного по адаптированной методике, имеют более широкий диапазон варьирования, чем при расчете по стандартной методике (и для базового периода, и при сравнении базового периода с периодом прогресса).

5. Разработана интегрированная база почвенных, климатических и экономических данных, на основе которой создана серия эконометрических динамических моделей развития сельского хозяйства, основанных на функции Кобба-Дугласа.

6. Результаты расчетов в соответствии с эконометрическими моделями, проведенных для Липецкой области, показывают, что из климатических данных наиболее сильное влияние на снижение урожайности и выручки агрохозяйств региона оказывает увеличение среднемесячной температуры в трехмесячный период (с мая по июль), что, вероятно, связано с глобальным изменением климата.

Из почвенных показателей наиболее устойчивые результаты по статистически значимым параметрам были у среднего содержания обменного калия в почвах (рост содержания обменного калия в возделываемых почвах муниципальных районов способствуют росту урожайности кормовых единиц и росту всей выручки от сельхоздеятельности).

7. Прогнозируемые к 2050 г. при помощи модели IMPACT-3 изменения климата приведут к изменению структуры посевных площадей, урожая основных сельскохозяйственных культур и выручки, получаемой сельхозпроизводителем. Наибольший ожидаемый прирост в площадях посева, урожайности, валового сбора и выручки от реализации последнего в 2050 г. по сравнению с 2010 г. наблюдается для пшеницы. Данное обстоятельство может свидетельствовать в пользу того, что в будущем экспорт пшеницы из исследуемого региона может быть увеличен.

8. Разработана и апробирована для территории Липецкой области методология управления устойчивым развитием сельского хозяйства региона

России в условиях деградации почв и изменения климата. Ядром методологии является создание представительных баз почвенно-климатических и экономических данных отдельных сельскохозяйственных предприятий и муниципальных районов с последующей разработкой на их основе региональных эконометрических моделей развития сельского хозяйства.

Научные статьи, опубликованные в Scopus, WoS, RSCI по специальности 1.5.15 – Экология:

1. Макаров О.А., Цветнов Е.В., Кубарев Е.Н., Абдулханова Д.Р., **Куделин В.Н.**, Марахова Н.А., Строков А.С. Апробация методологии экономики деградации земель для Липецкой области // *Агрехимический вестник*. — 2019. — № 1. — С. 2–6. – DOI 10.24411/0235-2516-2019-10001. ИФ РИНЦ (2022): 0,904 - 0,46 п.л./0,07 п.л.
2. **Куделин В. Н.** Опыт эколого-экономической оценки деградации земель агрохозяйства в Липецкой области // *Агрехимический вестник*. — 2020. — № 1. – С. 71-73. – DOI 10.24411/1029-2551-2020-10011 – ИФ РИНЦ (2022): 0,904 - 0,26 п.л./0,26 п.л.
3. Строков А.С., Макаров О.А., Цветнов Е.В., Абдулханова Д.Р., **Куделин В.Н.**, Марахова Н.А. Методология управления устойчивым развитием сельского хозяйства в условиях деградации почв и изменения климата// *Достижения науки и техники АПК* — 2020. — Т. 34, № 5. — С. 82–87. – DOI 10.24411/0235-2451-2020-10517. – ИФ РИНЦ (2022): 1,268 - 0,93 п.л./0,16 п.л.

Научные статьи в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.5.15 – Экология:

4. Строков А.С., Макаров О.А., **Куделин В.Н.**, Цветнов Е.В., Кубарев Е.Н., Абдулханова Д.Р. Модели взаимосвязи между экономическими, почвенными и климатическими показателями в сельском хозяйстве Липецкой области / А. С. Строков, О. А. Макаров, В. Н. Куделин и др. // *Проблемы агрохимии и экологии*. — 2020. — № 2. — С. 23–30. – DOI 10.26178/AE.2020.2019.4.017 - 10102 – ИФ РИНЦ (2022): 0,500 - 0,87 п.л./0,14 п.л.

Полный список публикаций на странице соискателя в ИАС «Истина»: <https://istina.msu.ru/profile/vlad-92-92@mail.ru/>