

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА
ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

На правах рукописи

Чекин Михаил Романович

**Эколого-экономическая оценка деградации почв и земель региона с
применением различных методических подходов (на примере Пензенской
области)**

1.5.15 – Экология

1.5.11 – Микробиология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата
биологических наук

Научные руководители:

доктор биологических наук,
профессор

Макаров Олег Анатольевич;
кандидат биологических наук
Поздняков Лев Анатольевич

г. Москва, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ	12
1.1. Основные понятия и проблемы деградации почв и земель.	12
1.2. Эколого-экономическая оценка деградации почв и земель	15
1.2.1. Оценка ущерба/вреда от деградации почв и земель.	15
1.2.2. Определение показателей нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ)	26
1.2.3. Экономическая оценка деградации земель (ЭДЗ).....	28
1.3. Современные подходы к оценке качества почвы с помощью микробиологических показателей.	33
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	37
2.1. Характеристика объектов исследования.....	37
2.1.1. Характеристика агрохозяйств «Евлашевское» и «Трудовой путь»	37
2.1.2. Характеристика Кузнецкого района Пензенской области.....	38
2.1.3. Характеристика Пензенской области.....	39
2.2. Методы исследования.....	45
2.2.1. Полевые методы исследования.....	45
2.2.2. Лабораторные методы исследования	48
2.2.3. Определение ущерба от деградации почв и земель.....	52
2.2.4. Определение нейтрального баланса деградации земель.....	58
2.2.5. Определение экономики деградации земель.....	59
ГЛАВА 3. ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ ПО ОСНОВНЫМ АГРОХИМИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ	61
3.1. Характеристика основных агрохимических показателей почв	

агрохозяйств «Евлашевское» и «Трудовой путь».....	61
3.2. Характеристика основных агрохимических показателей почв Кузнецкого муниципального района и Пензенской области в целом	65
3.3. Деградация почв и земель агрохозяйств «Трудовой путь» и «Евлашевское» по основным агрохимическим показателям	74
3.4. Деградация почв и земель Кузнецкого муниципального района и Пензенской области	75
ГЛАВА 4. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ.....	
4.1. Оценка ущерба от деградации почв и земель.....	78
4.1.1. Оценка ущерба от деградации почв и земель «Трудовой путь» и «Евлашевское».....	78
4.1.2. Оценка ущерба от деградации территории Кузнецкого района и Пензенской области.	87
4.2. Оценка нейтрального баланса деградации земель.....	92
4.2.1. Оценка нейтрального баланса деградации земель агрохозяйств «Евлашевское» и «Трудовой путь»	92
4.2.3. Оценка нейтрального баланса деградации земель Кузнецкого района Пензенской области	98
4.2.3. Оценка нейтрального баланса деградации земель Пензенской области ..	99
4.3. Оценка экономики деградации земель.....	104
ГЛАВА 5. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ СТЕПЕНИ ДЕГРАДАЦИИ ОТ АГРОИСТОЩЕНИЯ	
4.1. Определение микробиологических показателей.....	107
4.2. Определение взаимосвязи микробиологических и агрохимических показателей.	119
4.3. Применение дискриминантного анализа для микробиологической индикации агроистощения.	126

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	134
ВЫВОДЫ	138
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	140
ПРИЛОЖЕНИЕ	158

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы

На сегодняшний день в России наиболее актуальна проблема эффективного использования земель сельскохозяйственного назначения. Более 60% сельскохозяйственных земель Пензенской области приходится на плодородные черноземные почвы. Одна из основных проблем земельных ресурсов региона – их подверженность овражной эрозии, процессам дефляции и плоскостного смыва (Государственный доклад о состоянии природных ресурсов Пензенской области, 2020). Кроме того, в течение нескольких последних десятилетий значительные территории выбыли сельскохозяйственного использования. Оценка деградации помогает определить уровень устойчивости экосистемы и разработать меры по ее сохранению и восстановлению.

Пензенская область имеет развитое сельское хозяйство, которое неразрывно связано с состоянием почв. Деградация почв может привести к снижению урожайности, ухудшению качества продукции и, как следствие, к экономическим потерям.

Земельные ресурсы являются важным фактором экономического развития. Деградация почв может оказать негативное воздействие на инвестиционный климат, развитие туризма и другие отрасли экономики. Земли области предоставляют разнообразные экосистемные услуги, такие как фильтрация воды, регулирование климата, поддержание биоразнообразия и др. Деградация почв может угрожать этим услугам и, следовательно, затрагивать благополучие населения.

Существующие концепции эколого-экономической оценки деградированных земель, в частности, – оценка ущерба/вреда от деградации почв и земель (Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель, 1994; Яковлев и др., 2016), определение индекса нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) (Kust et al., 2017), экономики деградации земель (von Braun et al., 2012, 2013) – не имеют непосредственной связи с вопросами устойчивого производства продуктов питания и нечасто применяются совместно для выработки стратегии устойчивого развития

сельских территорий. В результате нерационального использования удобрений и малоэффективного землепользования почвы теряют свои продуктивные функции, о чем свидетельствуют не только химические и физические, но и биологические показатели (Krasilnikov et al., 2022).

С учетом всех вышеуказанных факторов, проведение эколого-экономической оценки деградации почв и земель в Пензенской области становится неотъемлемой частью стратегического планирования развития региона (Чекин и др., 2023). Она позволяет выявить основные проблемные зоны, определить потенциальные угрозы и разработать целенаправленные меры по улучшению экологической и экономической ситуации. В связи с этим важной научно-практической задачей является комплексная оценка ущерба/вреда, наносимого различными деградационными процессами, определение наиболее экологически и экономически выгодного типа землепользования. При этом, в последнее время, в комплекс методов эколого-экономической оценки деградации земель стали входить и методы, применяемые в микробиологии почв (Ананьева и др., 2011) и позволяющие оценить состояние почвенного микробиоценоза.

Цель настоящей работы: провести эколого-экономическую оценку деградации почв и земель для различных иерархических уровней административно-хозяйственного устройства Пензенской области (регион - муниципальное образование - агрохозяйство) с применением различных методических подходов.

Поставленная цель определила следующие **задачи:**

1. Рассчитать величину ущерба от деградации почв и земель для 3-х изучаемых уровней административно-хозяйственного устройства Пензенской области.
2. Применить методологию нейтрального баланса деградации земель для изучаемого региона.
3. Оценить экономическую эффективность ведения хозяйственной деятельности при существующем и предполагаемых вариантах землепользования

(применить методику фон Брауна) для 3-х изучаемых уровней административно-хозяйственного устройства Пензенской области.

4. Выявить взаимосвязь микробиологических показателей почвы и эколого-экономической оценки деградации земель.

Научная новизна

Проведённый впервые комплексный эколого-экономический и микробиологический анализ почв и земель позволил установить их деградацию на разных иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства Пензенской области.

Было впервые показано, что значения азотфиксирующей активности и активной биомассы прокариот имеют выраженную взаимосвязь с показателями агроистощения почв агрохозяйств Пензенской области.

Защищаемые положения

1. Деградационные процессы в почвах и на землях на разных иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства Пензенской области (регион в целом – муниципальный район – агрохозяйство) протекают неоднородно: с разной интенсивностью и направленностью. Поэтому инвестиции в восстановление продуктивности земель для области в целом не оправданы, а для района и агрохозяйства - оправданы (горизонт планирования инвестиций составлял 20 лет).

2. Адаптация методики нейтрального баланса деградации земель путём добавления к базовым индикаторам показателей: содержание органического вещества, обменного калия, подвижного фосфора и кислотности в пахотных почвах – приводит к существенному росту расчетной величины – доли деградированных земель на всех исследованных иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства Пензенской области.

3. Микробиологическая индикация агроистощения чернозема выщелоченного показала связь удельной азотфиксирующей активности и активной микробной биомассы прокариот со степенью деградации. По мере увеличения

степени деградации почв удельная азотфиксация закономерно падает, а изменения активной биомассы имеют «волнообразный» характер, что можно использовать при прогнозе качественного изменения микробной системы, и, как следствие – оценки степени деградации почв.

Теоретическая и практическая значимость

Предложенная схема эколого-экономической оценки почв и земель может быть использована при разработке комплекса природоохранных мероприятий для территории Пензенской области на ее различных уровнях административно-хозяйственного устройства.

Методология и методы исследования

В работе использованы классические методики эколого-экономической оценки деградации почв и земель (оценка ущерба/ вреда от деградации почв и земель, методика нейтрального баланса деградации земель, методика «действия»/ «бездействия»). Значительную долю работы занимают традиционные микробиологические методы определения процессов и численности микроорганизмов, а также статистическая обработка и анализ данных. Подробное описание методик изложено в Главе 2.

Степень достоверности и апробация работы

Полученные в диссертации результаты являются оригинальными, их достоверность большим фактическим материалом, собранным во время исследования, а также публикациями в рецензируемых изданиях, входящих в систему RSCI. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры эрозии и охраны почв (2019-2023), на Всероссийской научной конференции «Проблемы агрохимии и экологии – от плодородия к качеству почвы» (Москва, 2021), Всероссийской научной конференции «Агрохимическая наука - синтез академических знаний и практического опыта» (Москва, 2023).

Личный вклад автора

Автор собрал и обобщил литературные данные, организовал и провел полевой выезд на объект исследований, взаимодействовал с ведомственными службами, выполнил основную часть лабораторных работ, провел обработку

данных, участвовал в подготовке публикаций по теме исследования. В работе [5] автором внесен основополагающий вклад. В работе [1] вклад автора составил 0,10 п.л. из 0,56 п.л., в работе [2] – 0,12 п.л. из 0,74 п.л., в работе [3] – 0,10 п.л. из 0,58 п.л., в работе [4] – 0,13 п.л. из 1,01 п.л., в работе [6] – 0,10 п.л. из 0,72 п.л., в работе [7] – 0,10 п.л. из 0,58 п.л., в работе [8] – 2 п.л. из 26 п.л.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, из них 5 публикации в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах Scopus, Web of Science, RSCI, а также 1 публикация из дополнительного списка рецензируемых научных изданий, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальностям 1.5.15 – Экология и 1.5.11 – Микробиология.

1. Макаров, О.А. Цветнов Е.В., Цветнова О.Б., Марахова Н.А., **Чекин М.Р.**, Кубарев Е.Н., Абдулханова Д.Р. Опыт оценки нейтрального баланса деградации земель Приволжского федерального округа (на примере Пензенской области) // *Агрехимический вестник*. — 2021. — № 5. — С. 8–11. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-5-002. – ИФ РИНЦ (2022): 0,904.

2. Макаров О.А., Марахова Н.А., Красильникова В.С., Крючков Н.Р., **Чекин М.Р.**, Абдулханова Д.Р. Опыт оценки ущерба от деградации почв и земель муниципальных образований Российской Федерации // *Земледелие*. – 2022. – №. 4. – С. 3-7. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-4-3-7. – ИФ РИНЦ (2022): 1,677.

3. Строков А.С., Макаров О.А., **Чекин М.Р.**, Цветнов Е.В., Абдулханова Д.Р., Кубарев Е.Н. Апробация концепции экономики деградации земель (на примере Пензенской области) // *Агрехимический вестник*. — 2022. — № 5. — С. 93–96. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-5-018. – ИФ РИНЦ (2022): 0,904.

4. Макаров О.А., Абдулханова, Д.Р., Карпова, Д.В., Красильникова, В.С., Марахова, Н.А., Крючков, Н.Р., **Чекин М.Р.**, Беляева М.В., Балджиев А.С. Оценка ущерба от деградации почв и земель на трех иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства Российской Федерации: субъектов, муниципальных образований и агрохозяйств // *Вестник Московского университета*.

Серия 17: Почвоведение. — 2023. — Т. 78, № 2. — С. 86–93. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-2-86-93. – ИФ РИНЦ (2021): 0,463. [Makarov O.A., Abdulkhanova D.R., Karpova D.V., Krasilnikova V.S., Marakhova N.A., Kryuchkov N.R., Chekin M.R., Belyaeva M.V., Baldjiev A.S. Assessment of damage from soil and land degradation at three hierarchical levels of the administrative and economic structure of the russian federation: Subjects, municipalities, and agricultural farms // Moscow University Soil Science Bulletin. — 2023. — Vol. 78, № 2. — P. 149–155. DOI: 10.3103/S0147687423020072 – SJR (2021): 0,18]

5. **Чекин М.Р.** Опыт микробиологической индикации агроистощения чернозема выщелоченного // Агрехимический вестник. — 2024. — № 1. — С. 88–94. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-1-015. – ИФ РИНЦ (2022): 0,904.

6. Макаров О.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., **Чекин М.Р.**, Абдулханова Д.Р., Кубарев Е.Н., Марахова Н.А. Совмещенная оценка нейтрального баланса деградации земель и их эколого-экономического ущерба (на примере агрохозяйств Пензенской области) // Проблемы агрохимии и экологии. — 2021. — № 3-4. — С. 79–86. DOI: 10.26178/AE.2021.72.49.003. – ИФ РИНЦ (2022): 0,434.

7. Макаров О.А., Марахова Н.А., Красильникова В.С., Крючков Н.Р., **Чекин М.Р.**, Абдулханова Д.Р. Опыт эколого-экономической оценки деградации земель агрохозяйств, расположенных в различных субъектах Российской Федерации // Использование и охрана природных ресурсов в России. — 2022. — № 2. — С. 116–120. – ИФ РИНЦ (2022): 0,287.

8. Экономика деградации земель и продовольственная безопасность регионов России / Под редакцией О.А. Макарова / Макаров О.А., Абдулханова Д.Р., Балджи́ев А.С., Беляева М.В., Карпова Д.В., Красильникова В.С., Крючков Н.Р., Марахова Н.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Цветнова О.Б., **Чекин М.Р.**, Черкасова О.В. — Москва: ООО МАКС Пресс, 2022. — 320 с. DOI: 10.29003/m3113.978-5-317-06906-3.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, списка литературы и приложения. Материалы работы изложены на 192 страницах,

содержат 60 таблиц, 43 рисунка, приложение на 35 страницах. Список литературы включает 160 источников, в том числе 66 – на иностранном языке.

Благодарности

Автор глубоко признателен руководителям д.б.н., профессору О.А. Макарову, к.б.н., доценту Л.А. Позднякову за неоценимую помощь в подготовке данной работы, ценные советы и поддержку. Отдельную благодарность автор выражает д.б.н., профессору В.В. Демидову, д.б.н, профессору Л.В. Лысак, д.б.н, профессору Н.А. Манучаровой, д.б.н., профессору П.А. Кожевину, к.э.н. А.С. Строкову, к.б.н. Е.В. Цветнову, к.б.н. А.В. Якушеву, к.б.н. М.М. Карпухину, к.б.н. А.А. Белову, к.б.н. Н.Р. Крючкову, Д.Р. Абдулхановой, Н.А. Мараховой, О.В. Черкасовой, Е.Н. Есафовой, И.А. Ильичеву. Автор выражает благодарность сотрудникам кафедры эрозии и охраны почв, а также коллективу кафедры биологии почв. Автор благодарен к.б.н. А.С. Сорокину и к.б.н. М.С. Розановой за ценные советы при подготовке диссертации. Автор работы также выражает благодарность членам своей семьи за помощь в подготовке работы и проведении полевых работ, а также за моральную поддержку. Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 19–29–05021 мк.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

1.1. Основные понятия и проблемы деградации почв и земель

Для оценки и управления уровнем деградации почв и земель критически важно иметь точное понимание процесса деградации, а также объектов, подвергающихся деградации, то есть почв и земель. Это включает в себя информацию о пространственно-правовом статусе почв и земель, экологических показателях и выполняемых ими природных функциях (Макаров и др., 2016).

Вместе с тем научное, законодательное и особенно практическое применение сталкивается с нерешенными вопросами, связанными с однозначной интерпретацией понятий "самостоятельности и взаимоподчиненности" в контексте почв и земель. Другими словами, до сих пор не установлены научный и правовой статусы почв и земель, а также то, как полностью интегрировать эти понятия в практику управления природными ресурсами и охраны окружающей среды (Охрана почв, 1996; Шоба и др., 2013; Молчанов и др., 2015).

Официальное определение понятию земли дано в государственном стандарте (ГОСТ 26640-85): «Земля – важнейшая часть окружающей природной среды, характеризующаяся пространством, рельефом, климатом, почвами, растительностью, недрами, водами, являющаяся местом расселения, главным средством производства в сельском и лесном хозяйстве, а также пространственным базисом для размещения объектов материальной культуры, включая предприятия и организации всех отраслей народного хозяйства» (ГОСТ 26640-85, 1986).

В определении ООН, земля - «охватывает все характеристики биосферы, присутствующие над или под этой поверхностью» (UNCCD, 2016).

Научное сообщество в настоящего времени не имеют четкого определения понятия "деградация земель". Авторы известных определений, таких как "Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием", 1994, и других источников, подходят к деградации земель с точки зрения деградации почв. В частности, рассматривается ухудшение физических, химических и биологических

характеристик почв, а также долгосрочная утрата естественного растительного покрова (Бондаренко, 2016). В основном, это объясняется тем, что почва, как отмечено В.В. Докучаевым, отражает характер ландшафта. Тем не менее, этот подход не полностью охватывает социально-экономический аспект вопроса, а именно организацию общественной жизни в рамках конкретного ландшафта (Макаров и др., 2016).

Конечно, качество почв и ландшафта оказывает влияние на качество жизни на территории. Тем не менее, опыт показывает, что ситуация может сложиться таким образом, что состояние ландшафта и почв соответствует экологическим нормам для данной территории, однако социально-экономическая обстановка оставляет желать лучшего. Это обусловлено отсутствием эффективной системы управления земельными ресурсами и организации условий для устойчивого развития региона (Макаров и др., 2016).

Деградация земель может рассматриваться как потеря фактической или потенциальной продуктивности, или полезности в результате природных или антропогенных факторов; это снижение качества земель или уменьшение их продуктивности (Eswaran et al., 2019). В контексте продуктивности деградация земель возникает из-за несоответствия между качеством земель и их использованием (Beinroth et al., 1994). Механизмы, инициирующие деградацию земель, включают физические, химические и биологические процессы (Lal, 1994). Среди физических процессов важны ухудшение структуры почвы, приводящее к образованию корки, уплотнению, эрозии, опустыниванию, анаэробнобиозу, экологическому загрязнению и неудовлетворительному использованию природных ресурсов. Значительные химические процессы включают ацидификацию, вымывание, соленизацию, снижение способности удержания катионов и истощение плодородия. Биологические процессы включают снижение общего и биомассы углерода, а также снижение биоразнообразия земель. Последнее вызывает важные опасения относительно эвтрофикации поверхностных вод, загрязнения подземных вод и выбросов следящих газов (CO_2 , CH_4 , N_2O) из сухопутных/водных экосистем в атмосферу. Структура почвы

является важным свойством, влияющим на все три процесса деградации. Таким образом, деградация земель является деградацией экосистемы, вызванная экономическими и социальными предпосылками (Gebreselassie et al., 2016).

Деградация земель является весьма распространенной проблемой, она затрагивает около 25% поверхности земли (Lal, 2013). Начиная с 1950-х годов проблема деградации земель приобрела глобальный масштаб, (Nkonya et al., 2011).

Деградация почв – это процессы, приводящие к ухудшению экосистемных услуг почвы (Potschin, Haines-Young, 2011).

Понятие деградации почв не является равнозначным понятию деградации земель. Деградация земель включает все неблагоприятные процессы, происходящие в экосистеме и поэтому является более обширным понятием по сравнению с деградацией почв. Отсутствие универсального определения деградации почв и земель привело к существованию множества терминов, как в отечественной, так и в зарубежной науке. Подход российского почвоведения основан на выделении типов деградации почв по свойствам, которые подвергаются деградации (Добровольский, 2002; Jing Wang et al., 2008; Молчанов и др., 2015, Крючков, 2022):

- Физическая деградация почв
- Химическая деградация
- Биологическая деградация
- Гидрологическая деградация почв

Зарубежные авторы также выделяют 4 типа деградации, при том, что первые три типа совпадают с отечественной классификацией, однако последним типом является экологическая деградация – совокупность физической, химической и биологической деградации, которая приводит к нарушению экосистемных функций (Lal, 2015; Lal, Rattan, 2015).

1.2. Эколого-экономическая оценка деградации почв и земель

Так как «почва» является неотъемлемым компонентом понятия «земля», то эколого-экономическая оценка деградации земель также включает эколого-экономическую оценку деградации почв.

Эколого-экономическая оценка деградации почв и земель определяется в отечественной литературе как оценка эффективности использования методов охраны природы, а также процесс определения убытков или прибыли на основе качественных характеристик компонентов экосистемы (Яковлев, 2016). Можно выделить три основных подхода к проведению такой оценки (Яковлев, 2016):

1. Оценка степени деградации и ущерба/вреда, вызванного деградацией земель, путем сопоставления характеристик деградированных почв с эталонными (Методика определения ущерба/вреда от деградации почв и земель, 1994);

2. Оценка степени деградации путем расчёта баланса деградации во временном промежутке (подход нейтрального баланса деградации земель) (Kust et al., 2017);

3. Методика «действия»/ «бездействия», суть которой в определении степени деградации на основе сравнения различных развития землепользования (Braun et al., 2013).

1.2.1. Оценка ущерба/вреда от деградации почв и земель.

Как известно, в соответствии со статьей 4 Федерального закона от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», почвы и земли являются «объектом охраны окружающей среды от загрязнения, истощения, деградации, порчи, уничтожения и иного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности» (Бондаренко, 2016). Статьями 77, 78 этого закона предусмотрены обязанность полного возмещения вреда и порядок компенсации вреда окружающей среде, а статья 1 его же определяет вред окружающей среде как «...негативное изменение окружающей среды в результате ее загрязнения, повлекшее за собой деградацию естественных экологических систем и истощение природных

ресурсов».

В большинстве случаев понятия «вред» и «ущерб» являются равнозначными по своему смыслу (Бобылев, 2014), однако, термин «вред» является более комплексным, чем «ущерб» и может выражаться не только в денежных единицах, а, например, - в баллах (потери экологического качества конкретных природных компонентов).

Существует два основных способа исчисления размеров ущерба/вреда, нанесенного почвам и землям (Порядок определения размера ущерба от загрязнения земель химическими веществами, 1993; Бондаренко, 2016):

1) исходя из затрат на проведение полного объема работ по очистке загрязненных земель, восстановлению деградированных земель, изъятию отходов с захламленных участков;

2) в случае невозможности оценить указанные затраты, размеры ущерба от загрязнения земель рассчитываются по формулам, учитывающим площадь, глубину и степень загрязнения, деградации и захламления, экономические характеристики исследуемого региона и земельные таксы, назначаемые нормативным путем

Наиболее распространенными методиками оценки ущерба/вреда являются:

1. «Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» (Утверждена Роскомземом 10 ноября 1993 г. и Минприродой РФ 18 ноября 1993 г.) – в настоящее время не действует.

2. «Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (Утверждена приказом Роскомзема и Минприроды России от 17 июля 1994 г.) – в настоящее время не действует.

3. «Методика исчисления размера ущерба, вызванного захламлением, загрязнением и деградацией земель на территории Москвы» (Утверждена Постановлением Правительства Москвы от 22 июля 2008 г. № 589-ПП) – в настоящее время не действует.

4. «Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» (Утверждена приказом Минприроды России от 8

июля 2010 № 238) – действующая методика.

«Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» (1993) и «Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994) включают в себя алгоритм проведения расчетов, принимая во внимание почвенные свойства, площадь и степень загрязнения, деградации и захламления почв» (Бондаренко, 2016; Макаров и др., 2017). Сумма ущерба от загрязнения и деградации почв и земель взимается с предприятий, учреждений, организаций и других юридических лиц, независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, на которой они основаны, включая совместные предприятия с участием иностранных юридических и физических лиц, и граждан. Указанные методики до сих пор представляют интерес для специалистов ещё и потому, что в них приведены чёткие, ранжированные по пятибалльной шкале, уровни загрязнения и степени деградации почв и земель для конкретных почвенных показателей. Эти уровни и степени коррелируют с критериальной таблицей оценки состояния окружающей природной среды (табл. 1.1) и, следовательно, - друг с другом. То есть, в определённом смысле, можно считать, что максимальные 5-й (очень высокий) уровень загрязнения и 4-я степень (очень сильная) степень деградации соответствуют катастрофическому уровню потери качества (табл.1.1).

Таблица 1.1. Критериальная таблица оценки экологического состояния окружающей природной среды (Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами, 1993; Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель, 1994)

Оценочный балл	Качественные признаки состояния природной среды	Уровни потери качества
0-1,0	Отсутствие признаков: - угнетения естественных и антропогенных биоценозов; - нарушений состояния здоровья из-за влияния окружающей природной среды; - нарушений природных сфер и их функционального равновесия	Условно нулевой

Оценочный балл	Качественные признаки состояния природной среды	Уровни потери качества
1,1-2,0	<ul style="list-style-type: none"> - заметное угнетение естественных биоценозов, использование земель для производства пищевой продукции без ограничений; - природная среда в целом удовлетворительна для существования человека; - признаки нарушений отдельных природных сфер обратимого характера 	Низкий
2,1-3,0	<ul style="list-style-type: none"> - природные биоценозы сильно угнетены, производство пищевой продукции неэффективно из-за низкого качества и пониженного плодородия почв; - здоровье населения заметно ухудшено из-за неблагоприятных условий окружающей природной среды; - окружающая природная среда не справляется с антропогенными нагрузками 	Средний
3,1-4,0	<ul style="list-style-type: none"> - невозможность длительного существования искусственных насаждений, противопоказанность использования земель для производства продовольственной продукции; - существенная деградация населения по состоянию здоровья; - необратимые нарушения природных сфер, исключающие самовосстановление природной среды в целом 	Высокий
4,1– 5,0	<ul style="list-style-type: none"> - биопродуктивность земель нулевая; - прямой контакт человека с природной средой опасен для здоровья и существования человека; - природные сферы необратимо нарушены и не могут выполнять своих функций в окружающей среде 	Катастрофический

В соответствии с «Порядком определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» величина ущерба от загрязнения земель

рассчитываются по формуле (1) (Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами, 1993):

$$П = \Sigma (Нс \times S(i) \times Kв \times Ka(i) \times Kэ(i) \times Kг), \quad (1)$$

где $П$ - размер платы за ущерб от загрязнения земель одним или несколькими химическими веществами (тыс.руб.);

$Нс$ - норматив стоимости сельскохозяйственных земель (руб./га).
Стоимость земель городов и населенных пунктов определяется утверждается соответствующими органами исполнительной власти субъектов РФ;

$Kв$ - коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению загрязненных сельскохозяйственных земель (табл. 1.2);

$S(i)$ - площадь земель, загрязненных химическим веществом i -го вида (га);

$Ka(i)$ – коэффициент пересчета в зависимости от степени загрязнения земель химическим веществом i -го вида;

$Kэ(i)$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории i -го экономического района (табл. 1.3);

$Kг$ - коэффициент пересчета в зависимости от глубины загрязнения земель (табл. 1.4).

Согласно «Методике определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994) размер ущерба от деградации рассчитывается для каждого контура деградированных почв и земель по формуле (2) (Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель, 1994):

$$Ущ = Нс \times S \times Kэ \times Kс \times Kп + Дх \times S \times Kв, \quad (2)$$

где $Ущ$ – размер ущерба от деградации почв и земель (тыс. руб.);

$Нс$ – норматив стоимости;

$Дх$ – годовой доход с единицы площади (тыс.руб.);

S – площадь деградированных почв и земель (га);

$Kэ$ – коэффициент экологической ситуации территории (табл. 1.5);

$Kв$ – коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель, определяемый согласно табл. 1.2;

K_c – коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель, определяемый согласно табл. 1.6 и табл. 1.7;

K_n – коэффициент для особо охраняемых территорий, определяемый в соответствии с таблицей 1.8.

В настоящее время в качестве величины N_c в формулах (1) и (2) нередко используют нормативную цену или кадастровую стоимость земельных участков (Макаров и др., 2022).

Таблица 1.2. Значения коэффициента пересчета (K_v) дохода с с/х земель в зависимости от периода времени их восстановления (Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель, 1994; Макаров и др., 2011)

Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчета	Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчета
1 год	0,9	8–10 лет	5,6
2 года	1,7	11–15 лет	7,0
3 года	2,5	16–20 лет	8,2
4 года	3,2	21–25 лет	8,9
5 лет	3,8	26–30 лет	9,3
6–7 лет	4,6	31 и более лет	10

Таблица 1.3. Коэффициенты (K_z) для расчета размеров ущерба в зависимости от степени загрязнения земель химическими веществами (Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель, 1994)

Уровень загрязнения земель	Степень загрязнения	K_z
1	Допустимая	0
2	Слабая	0,3
3	Средняя	0,6
4	Сильная	1,5
5	Очень сильная	2,0

Таблица 1.4. Коэффициенты (K_2) для расчета ущерба в зависимости от глубины загрязнения земель (Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель, 1994)

Глубина загрязнения земель, см	K_2
0-20	1,0
0-50	1,3
0-100	1,5
0-150	1,7
0 >150	2,0

Таблица 1.5. Коэффициенты экологической ситуации территории (K_3) (Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель, 1994)

Экономические районы РФ	K_3
Северный	1,4
Северо-Западный	1,3
Центральный	1,6
Волго-Вятский	1,5
Центрально-Чернозёмный	2,0
Поволжский	1,9
Северо-Кавказский	1,9
Уральский	1,7
Западно-Сибирский	1,2
Восточно-Сибирский	1,1
Дальневосточный	1,1

Таблица 1.6. Коэффициенты пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель (K_4) (Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель, 1994)

Степень деградации по данным предыдущих обследований	Степень деградации почв по данным контрольных обследований				
	0	1	2	3	4
0	0	0,2	0,5	0,8	1,0
1	-	0	0,3	0,6	0,8
2	-	-	0	0,3	0,5
3	-	-	-	0	0,2
4	-	-	-	-	0

Таблица 1.7. Коэффициенты пересчета для отдельных случаев деградации почв и земель (*K_c*) (Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель, 1994)

Тип деградации	Коэффициент пересчета
Образование солончаков	1,5
Поднятие уровня минерализованных (> 3 г/л) грунтовых вод выше 2 м	2,0
Образование оврагов и рост существующих	3,0

Таблица 1.8. Повышающие коэффициенты (*K_п*) к нормативам стоимости при деградации почв и земель в пределах ООПТ (Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель, 1994)

Земли особо охраняемых территорий	<i>K_п</i>
на земли природно-заповедного фонда	3
на земли природоохранного, оздоровительного и историко-культурного назначения	2
на земли рекреационного назначения	1,5
на прочие земли	1

Одной из достаточно интересных методических разработок по определению ущерба загрязненных и деградированных земель является «Методика оценки размера вреда, причиненного окружающей среде в результате загрязнения, захламления, нарушения (в том числе запечатывания) и иного ухудшения качества городских почв», принята Постановлением Правительства города Москвы от 22 июля 2008 г. № 589-ПП. Позже, в 2012 г. она была признана утратившей силу (Постановление Правительства города Москвы от 17 октября 2012 г. № 572-ПП), но, с нашей точки зрения, представляет научно-методический интерес с позиции реализованных здесь подходов как к самому понятию «вред», так и к процедуре определению его величины. Рассматриваемая методика оценки основана на определении размера затрат, связанных с приведением городских почв в состояние, отвечающее нормативным требованиям, а также - затрат на проведение обследования и аналитических работ. Под нанесенным вредом в методике понимается изменение состояния городских почв, приводящее к частичной или полной утрате способности городских почв выполнять экологические функции в

результате неправомерных действий (бездействия) при осуществлении хозяйственной или иной деятельности, в том числе в результате неправомерного запечатывания территории.

Расчет общего размера вреда, причиненного окружающей среде в результате загрязнения, захламления, нарушения (в том числе запечатывания) и иного ухудшения качества городских почв проводится по формуле (3) (Бондаренко, 2016):

$$У = У_{загр} + У_{захл} + У_{нар} + У_{зап} + У_{ухудш}. \quad (3)$$

где:

$У_{загр}$ – загрязнение,

$У_{захл}$ – захламление,

$У_{нар}$ – нарушение,

$У_{зап}$ – запечатывание,

$У_{ухудш}$ – иное ухудшение качества городских почв (Бондаренко, 2016).

На первом этапе происходит установление площади загрязненного контура, определение глубины химического загрязнения, измерение глубины нарушенного участка, определение объема мусора и индикация объема и вида отходов. На втором этапе устанавливаются местоположение участка, на котором произошло загрязнение/захламление/нарушение/запечатывание/иное ухудшение качества почвы относительно территорий города (территория внутри Садового кольца, территория между Садовым кольцом и окружной железной дорогой, особо охраняемая природная территория, остальные территории Москвы), определяется размер различных поправочных коэффициентов, приведенных в методике. На третьем этапе проводится расчет размера вреда и убытков того или иного вида.

На федеральном уровне в настоящее время для исчисления в стоимостной форме размера вреда, нанесенного почвам в результате нарушения законодательства Российской Федерации в области охраны окружающей среды, а также при возникновении аварийных и чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, применяется «Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды», которая была

утверждена Приказом Минприроды России от 8 июля 2010 г. N 238 (с изменениями на 18 ноября 2021 года). «Методику используют в тех случаях, когда необходимо оценить состояние почв и нанесенный вред после химического загрязнения почв в результате поступления в почвы химических веществ, несанкционированного размещения отходов производства и потребления, порчи почв в результате самовольного запечатывания поверхности почв. Данная методика не применяется в случае радиоактивного загрязнения, а также несанкционированного размещения биологических, радиоактивных и отходов лечебно-профилактических учреждений» (Бондаренко, 2016).

Исчисление в стоимостной форме размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, осуществляется по формуле (4) (Макаров и др., 2023):

$$\text{УЩ} = \text{УЩзагр} + \text{УЩотх} + \text{УЩперекр} + \text{УЩсн} + \text{УЩуничт} \quad (4)$$

где *УЩ* - общий размер вреда, причиненного почвам (руб.);

УЩзагр - размер вреда в результате загрязнения почв, возникшего при поступлении в почву загрязняющих веществ, приводящего к несоблюдению нормативов качества окружающей среды для почв, включая нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве, нормативы качества почв в пределах территории субъекта Российской Федерации (далее - нормативы ПДК и ОДК химических веществ в почве, региональные нормативы соответственно), руб.;

УЩотх - размер вреда в результате порчи почв при их захлавлении, возникшего при складировании на поверхности почвы или в почвенной толще отходов производства и потребления, руб.;

УЩперекр - размер вреда в результате порчи почвы при перекрытии ее поверхности, возникшего при перекрытии искусственными покрытиями и (или) объектами (в том числе линейными объектами и местами несанкционированного размещения отходов производства и потребления), руб.;

УЩсн - размер вреда в результате порчи почв при снятии и (или) перемещении плодородного слоя почвы, руб.;

УЩунит - размер вреда в результате уничтожения (полного разрушения) плодородного слоя почвы, руб.

При этом таксы для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, при загрязнении, порче (частичном разрушении) и уничтожении (полном разрушении) почв определяются согласно табл. 1.9 и 1.10 и рассчитываются с учетом коэффициента дефлятора путем умножения.

Таблица 1.9. Таксы (ТХ) для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, при загрязнении, порче (частичном разрушении) и уничтожении (полном разрушении) почв (Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, 2010)

Приуроченность участка распространения почв, которым причинен вред, к лесорастительным зонам и земельным участкам, расположенным севернее зоны притундровых лесов и редкостойной тайги	Таксы (руб./м)
Земельные участки, расположенные севернее зоны притундровых лесов и редкостойной тайги	1000
Зона притундровых лесов и редкостойной тайги	900
Таежная зона	500
Зона хвойно-широколиственных лесов	400
Лесостепная зона	500
Степная зона	600
Зона полупустынь и пустынь	550
Зона горного Северного Кавказа и горного Крыма	700
Южно-Сибирская горная зона	700

Таблица 1.10. Таксы (ТОТХ) для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, в результате порчи почв при их захламлении (Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, 2010)

Класс опасности i-го вида отхода	I	II	III	IV	V
Такса (руб./тонна)	94000,0	81000,0	54000,0	13000,0	10000,0

Коэффициент дефлятор учитывает инфляционную составляющую экономического развития, принимается на уровне накопленного к периоду

исчисления размера вреда (год причинения вреда почвам) индекса-дефлятора по отношению к 2010 году, который определяется как произведение соответствующих индексов-дефляторов по годам по строке «инвестиции в основной капитал (капитальные вложения) за счет всех источников финансирования», разрабатываемых и публикуемых Минэкономразвития России в рамках прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на долгосрочный период (далее - индекс-дефлятор). Коэффициент индексации рассчитывается без учета прогнозного значения индекса-дефлятора на текущий год (значения индекса - дефлятора на год причинения вреда почвам).

Необходимо еще раз отметить, что хоть «Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» (2010) в настоящее время является единственным действующим нормативно-методическим документом (Сизов, 2015). Наиболее удобный подход для определения степени деградации почвы – «Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994).

1.2.2. Определение нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ)

Ключевым звеном в кругу современных проблем является деградация земель (Добровольский, 2014; Field et al., 2017; Куст и др., 2018; Иванов и др., 2008; Апарин, 2006; Economics of Land Degradation, 2016). «Для преодоления тенденций, связанных с деградацией земель, в настоящее время все большее признание получают методологические системы, в основе которых лежит представление об устойчивом развитии территорий» (Макаров и др., 2021). К числу таких систем относится концепция «нейтрального баланса деградации земель» (НБДЗ, LDN), впервые озвученная на 10-й конференции сторон Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН) в 2011 году (Куст и др., 2018; Макаров и др., 2021).

Нейтральный баланс деградации земель по определению – это состояние территории, в соответствии с которым объём и качество земельных ресурсов, необходимых для поддержания экосистемных функций и услуг и для повышения продовольственной безопасности, остаются стабильными или увеличиваются в

определенных временных и пространственных масштабах и экосистемах (Куст и др., 2018). НБДЗ – это совокупность мер по поддержанию природного потенциала и деградации земель (United Nations Statistical Commission, 2016; Цветнов и др., 2020; Руководство по практикам устойчивого управления земельными ресурсами в Центральной Азии в условиях климатических изменений, 2023) (рис. 1.1).

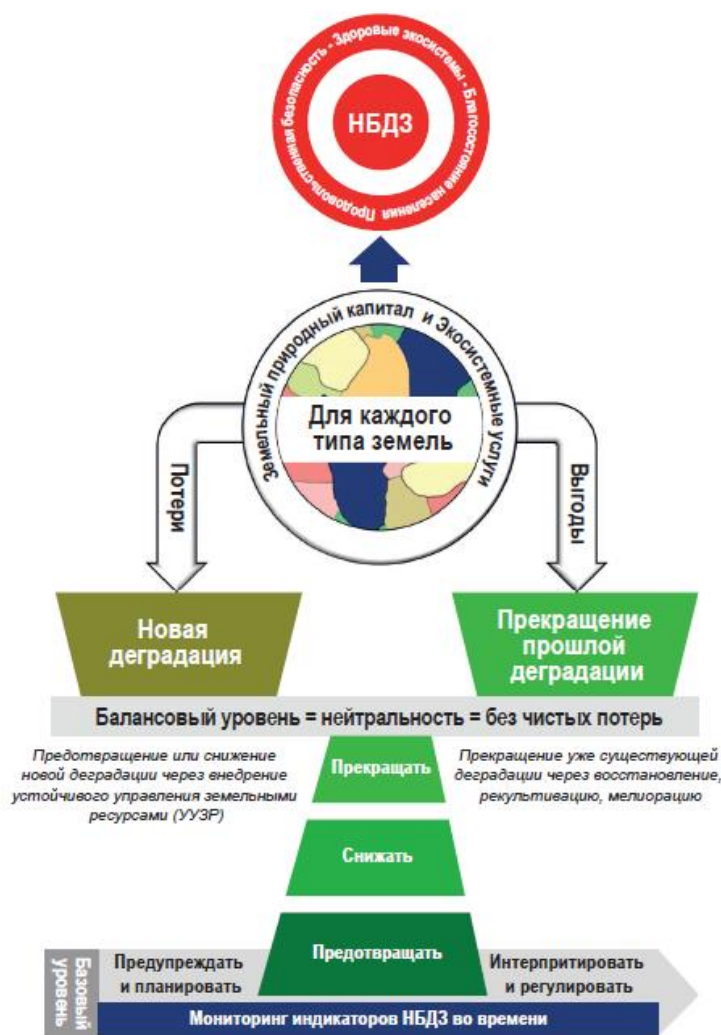


Рисунок 1.1. Схема проведения исследований в области нейтрального баланса деградации земель (Scientific Conceptual Framework, 2017; Цветнов и др., 2020).

Концепция нейтральности реализуется через фиксацию следующего принципа – существующие на каждой данной территории формы землепользования должны создавать устойчивый (нейтральный) баланс между деградированными территориями, то есть территориями, ухудшившими свое состояние к моменту оценки и территориями, которые только потенциально могут

ухудшить свое состояние. Другими словами, НБДЗ можно рассматривать как практический инструмент для обеспечения баланса процессов деградации земель и их восстановления, реабилитации, рекультивации на глобальном, национальном, региональном и локальном уровнях земель (Kust, 2017). Реализация концепции НБДЗ направлена на решение достаточно широкого спектра задач, среди которых сохранение и увеличение земельного природного капитала; выявление последствий деградации земель, которые нужно предотвращать/уменьшать; улучшение производственного потенциала земли, которая уже находится в стадии деградации; повышение благосостояния населения и состояния окружающей среды.

Важной особенностью концепции является, на наш взгляд, её применимость для любых возможных типов деградации земель и различных видов землепользования, а также то, что она позволяет дать обобщенную, интегральную оценку динамики деградационных процессов в регионе исследований. Последнее соображение чрезвычайно важно, так как в исследуемой местности могут быть выявлены различные процессы деградации земель, которые порой сложно сопоставить по масштабам воздействия.

«Для обеспечения сравнимости результатов на глобальном уровне для различных территорий КБО ООН разработала специальные расчётные модули «Trends.Earth» и «UNCCD», которые используют глобальные базы данных, включая зондирование Земли из космоса (Trends.Earth, 2019). Однако здесь возникает одна из центральных проблем рассматриваемой методологии – предоставляемые программными модулями данные не согласуются с национальными данными отдельных стран, в частности РФ» (Kust et al., 2018, Цветнов и др., 2020).

1.2.3. Экономическая оценка деградации земель (ЭДЗ)

Основой устойчивого управления земельными ресурсами (УУЗР), является использование земельных ресурсов при условии поддержания их экологических функций (United Nations, 1992). Отсутствие универсальных методов УУЗР,

применимых во всем мире, стало предпосылкой к необходимости развития подхода "Экономика деградации земель". Теоретические основы для этой инициативы разрабатываются Международным институтом по исследованию продовольственной политики (IFPRI) и Университетом Бонна (Бондаренко, 2016; Макаров и др., 2017). Основные положения этой концепции были изложены в ряде публикаций (Макаров и др., 2017; Nkonya et al., 2011; von Braun, Gerber, 2012; von Braun et al., 2012, 2013), который был открыт Секретариатом Конвенции по борьбе с опустыниванием, Европейской комиссией и Правительством Германии (Макаров и др., 2017).

«Для расчетов используются два метода. Первый метод (упрощенный) основан на изменении типа землепользования. Второй метод не подразумевает изменения землепользования. Суть упрощенного метода заключается в оценке изменения стоимости земель при изменении типа землепользования или растительного покрова (ТЗРП), например, при смене лесной растительности сельскохозяйственными угодьями или многолетних насаждений пастбищами. Сравнивается цена действия по возвращению наиболее продуктивного растительного покрова и цена бездействия, то есть пассивного ожидания, когда продуктивность экосистемы ежегодно падает на какую-то величину. Уменьшение стоимости земель расценивается как их деградация» (Макаров и др., 2017).

Рассчитывается она по формуле (5):

$$C_{LUCC} = \sum_i^K (\Delta a_1 p_1 - \Delta a_2 p_2) \quad (5)$$

где C_{LUCC} – цена деградации земель в результате изменения ТЗРП;

Δa_1 – площадь земли типа 1 (обычно деградированная), которую мы хотим изменить или преобразовать в землю типа 2 (обычно улучшенная практика землепользования);

p_1 и p_2 – общая экономическая ценность (ОЭЦ) земель типов 1 и 2, соответственно.

Стоимость бездействия будет представлять собой сумму годовых потерь от деградации – формула (6) (Макаров и др., 2017):

$$CI_i = \sum_{t=1}^T C_{LUUC}, \quad (6)$$

где CI_i – стоимость бездействия при растительном покрове i .

Стоимость действия против изменения ТЗРП определяется по формуле (7) (Макаров и др., 2017):

$$CTA_i = A_i \frac{1}{p^t} \{Z_i + \sum_{t=1}^T [x_i + p_j x_j]\}, \quad (7)$$

где CTA_i – стоимость восстановления высокоценного растительного покрова i ;

p^t – дисконтный фактор землепользователя (дисконтный фактор – коэффициент «стоимости денег», то есть банковская ставка по кредиту либо упущенная выгода в размере ставки начислений по вкладу, если для улучшения ландшафта используются свои средства);

A_i – площадь высокоценного растительного покрова i который был замещен низкоценным растительным покровом j ;

z_i – стоимость восстановления высокоценного растительного покрова i ;

x_i – стоимость ухода за растительным покровом i , пока он не достигнет зрелости;

x_j – продуктивность низкоценного растительного покрова j на гектар;

p_j – стоимость низкоценного растительного покрова j на единицу (например, на тонну);

t – время в годах;

T – горизонт планирования при принятии решений по деградации земель. Величина $p_j x_j$ представляет собой значение упущенной выгоды от использования низкоценного растительного покрова j при его замещении.

Использование спорных величин в данном подходе игнорирует полезность ландшафтов для человека, к примеру, максимальную стоимость имеют лесные территории, а пашня – минимальную ("Справедливая" экономика землепользования, 2018).

Следует рассмотреть другой метод, актуальный для территории России, отличающийся отсутствием изменения ТЗРП.

«Социальная цена и выгода от действий против деградации земель в противоположность бездействию определяется чистой приведенной стоимостью (net present value – NPV) действия против деградации земель в год t для горизонта планирования землепользования T – формула (8) (Макаров и др., 2017):

$$\pi_{t_t}^c = \frac{1}{p^t} \sum_{t=0}^T (PY_t^c + IV_t + NU_t + b_t^c - lm_t^c - c_t^c - \tau_t^c) \quad (8)$$

где $\pi_{t_t}^c = NPV$;

Y_t^c – выход продукционных сервисов прямого использования (имеются в виду основные продукты сельского или лесного хозяйства: например, зерно, корнеплоды, древесина и др.) в случае применения практик устойчивого управления земельными ресурсами (УУЗР);

P – единица стоимости Y_t^c ;

IV_t – стоимость непрямого использования;

NU_t – стоимость неиспользования на участке;

b_t^c – выгода от практик УУЗР вне участка $pt - 1 + r$, r – дисконтный фактор землепользователя;

lm_t^c – затраты на практики УУЗР;

c_t^c – прямые затраты на производство продукции, не связанной с земледелием;

τ_t^c – затраты на УУЗР вне участка, включая затраты на использование и неиспользование.» («Справедливая» экономика землепользования», 2018).

Если же землепользователь не предпринимает действий против деградации земель, чистая приведенная стоимость (NPV) рассчитывается следующим образом (Макаров и др., 2017):

$$\pi_t^d = \frac{1}{p^t} \sum_{t=0}^T (PY_t^d + IV_t + NU_t + b_t^d - lm_t^d - c_t^d - \tau_t^d) \quad (9)$$

где $\pi_t^d = NPV$ где землепользователь использует почворазрушающие практики.

Остальные переменные аналогичны вышеприведенным, но используются с индексом d , обозначающим почворазрушающие практики.

Соответственно, BA – выгода от использования УУЗР - рассчитывается по

формуле (10) (Макаров и др., 2017):

$$BA = \pi_t^c - \pi_t^d \quad (10)$$

«Данный подход отличается разнообразием учитываемых факторов и учетом экосистемных услуг при рациональном и нерациональном землепользовании. Многие из параметров в формулах (8) и (9) достаточно сложно измеряются, поэтому такой интегральный подход имеет определенные проблемы. Перспективно с практической точки зрения модифицировать данный подход, где в основе будет лежать определение стоимости и выгоды от действия или бездействия при восстановлении деградированных земель» (Макаров и др., 2017).

Указанные концепции не имеют непосредственной связи с вопросами устойчивого производства продуктов питания. Зачастую, даже если цель существования методики оценки деградации ассоциирована с вопросами продовольственной безопасности, как, например, в случае с подходом НБДЗ, итоговые расчетные показатели, результирующие оценочные работы, не позволяют сформулировать выводы относительно состояния продовольственной безопасности региона исследований или страны в целом и дать рекомендации по ее усилению. Только в методике оценки «действия / бездействия» Й. фон Брауна предполагается оценка продуктивности почв как одного из экосистемных услуг (Макаров и др., 2017; Макаров и др., 2018). Однако сама методика требует серьезной коррекции и адаптации к российским условиям.

Между тем, наблюдаемая в настоящее время интенсификация сельскохозяйственного производства в нашей стране зачастую сопровождается несоблюдением элементарных агротехнических приемов и правил (например, - игнорирование севооборотов при выращивании зерновых культур) и, соответственно, - деградацией земельных ресурсов, особенно в регионах, почвы которых обладают высоким природным плодородием. При этом указанная деградация затрагивает не только природные, но и экономические и социально-экономические характеристики земель (недостаточные показатели урожайности и качества сельскохозяйственных культур, снижение уровня жизни селян, отток людей из сельской местности и т.д.). В этой связи, экономическая оценка

произошедших потерь от различных процессов деградации сельскохозяйственных земель, определение стоимости и сценария их восстановления в контексте продовольственной безопасности государства является важнейшей задачей, стоящей перед агроэкономикой. Еще одной важной и нерешенной задачей в контексте рассматриваемого вопроса является оценка вклада деградации почв и земель в интегральный индекс продовольственной безопасности, с помощью которого можно производить обобщенное сравнение продовольственной безопасности отдельных регионов и/или стран.

1.3. Современные подходы к оценке качества почвы с помощью микробиологических показателей

Современное понимание качества почвы определяется ее физико-химическими характеристиками. За рубежом разработаны интегральные индексы для оценки качества почвы (Lieblg et al., 1996; Arias et al., 2005). «Эти показатели включают электропроводность, рН, сопротивляемость при вспашке, плотность, содержание органического вещества, органический углерод, углерод микробной биомассы, влажность, фильтрационную способность, температуру, дыхание, содержание нитратов и другие» (Karlen et al., 2003; Karlen et al., 2008; Semenov, Sokolov, 2016). Некоторые из них коррелируют с урожаем (Zornoza et al., 2007). Попытка количественной характеристики качества почвы проводится через многофакторный анализ и интегральные индексы (Karlen et al., 2003; Karlen et al., 2008; Sarrantonio et al., 1996).

Требования агроэкосистем зачастую не соответствуют природным характеристикам почвы, так как для потребностей сельского хозяйства требуется высокая биопродукция. Балансирование между этими аспектами является наиболее важной проблемой. Следовательно, необходимо не только новые инструментальные методы, но и инновационное использование уже существующих данных и синтезирование характеристик почвы, которые давно требуются в практике сельского хозяйства (Семенов, Соколов, 2016).

«Современная почва представляет собой органо-минеральный продукт,

формируемый и поддерживаемый в соответствии с климатическими условиями благодаря взаимодействию растений и микроорганизмов в неорганической среде. В этот продукт входят остатки и метаболиты биоты, а также биофильные элементы. Здесь происходят биологические и физико-химические процессы, включая биогеохимические циклы элементов и микроорганизмов» (Семенов, Соколов, 2016). Почва обладает буферными свойствами, обеспечивает питание растений и поддерживает биоразнообразие. Биологическая составляющая почвы играет важную роль в поддержании жизненно важных функций для экосистем, таких как продукция и создание среды, поддерживает генофонд и разнообразие почвенных организмов (Семенов, 2015).

Социальные и научные условия обусловили создание и внедрение идеи формирования концепции здоровья почвы в 1980-90-х годах (Doran et al, 1996; Doran, Zeiss, 2000; van Bruggen, Semenov, 2000; Соколов и др., 2010). Данная концепция уже распространилась в США, странах Европейского союза и активно внедряется в остальном мире (Semenov et al., 2017).

Примером определения здоровья почвы может быть определение: «Здоровье почвы есть функция ее экологической устойчивости, включающей: а) оптимально сбалансированное и адаптированное (к экоресурсам) биоразнообразие педоценоза; б) самоочищение почвы от загрязняющих веществ посредством сорбции и/или биотрансформации; в) супрессию аборигенными почвенными микроорганизмами вредной биоты (фитопатогенной и санитарно-показательной)» (Семенов, Соколов, 2016).

«В настоящее время физические и химические аспекты качества почвы рассматриваются как неотъемлемые компоненты её здоровья, определяющие функции почвенной биоты» (Соколов и др., 2015; Семенов, Соколов, 2016).

При более подробном осмыслении понятия здоровья почвы необходимо учитывать законы роста и развития биологических популяций (Семенов, Соколов, 2016). В дополнение известны также частные законы, к примеру, в работах Д.Г. Звягинцева и коллег (Почва и микроорганизмы, 1987; Биология почв, 2005). «Известны концепции "актуальной и потенциальной активности почвенной

микробной популяции", "микробного пула и избыточности этого пула в почве и других экосистемах относительно доступных питательных ресурсов", "функционального параллелизма среди микроорганизмов или функционального дублирования", "микроразнообразия почвы как среды для микроорганизмов"» (Семенов, Соколов, 2016). Эти объективные экологические закономерности следует дополнить концепциями об "эволюционном развитии микроорганизмов в сообществе и через общество" (Семенов, Соколов, 2016), а также "связью между важностью процесса в экосистеме и численностью/активностью микроорганизмов, участвующих в этом процессе" (Семенов, 2009; Семенов, 2010).

Микробное сообщество (МС) является совокупностью популяций микроорганизмов (Семенов, Соколов, 2016). Также связаны с этой концепцией концепция питательной бедности как способа поддержания здоровых почв, а также сукцессионной регуляции активности микробных сообществ (Semenov, 1991; Семенов, Соколов, 2016). Очевидно, что более высокая функциональная эффективность микробных сообществ почвы способствует более быстрым и эффективным процессам восстановления, что в свою очередь поднимает уровень здоровья почвы (ЗП) (Воробьев и др., 2014). Существуют принципиально новые концепции ЗП. Среди них есть концепция "нарушающих воздействий и волнообразного развития микробных популяций и сообществ" (Семенов, 2001; van Bruggen et al., 2006; Семенов и др., 2011).

«Среди индикаторов здоровья почвы (ЗП), подобно показателям качества почвы, основное внимание уделяется характеристикам "создателей и обитателей" почвы, их деятельности и метаболитам. Такие характеристики включают дыхание почвы (базальное дыхание и дыхательный коэффициент - qCO_2), микробную биомассу, численность бактерий, длину мицелия грибов, разнообразие микробов (измеряемое индексами Шеннона, Бергера-Паркера и др.), а также нематод, другую микро- и мезофауну (Ferris, Tuomisto, 2015; Li, 2012). Помимо биологических показателей, часто используют и химические, такие как содержание органического вещества, легко минерализуемого углерода и азота. Опорой для применения таких характеристик как индикаторов ЗП и качества почвы служат результаты

исследований, демонстрирующие влияние микробной биомассы на обработку почвы, внесение удобрений и растительные остатки. Тип севооборота также используется для обоснования применения этих показателей как дополнительных индикаторов состояния почвы» (Lavahun et al., 1996; Семенов, Соколов, 2016).

Здоровье почвы агроценозов дополнительно оценивается соответствием своего состава нормативным показателям и приемлемой плодородностью (Семенов, Соколов, 2016).

Одним из показателей активности биологических процессов является скорость выделения CO_2 почвой. В пахотном горизонте агроценоза обычно преобладают аэробные условия. Добавление питательного субстрата приводит к высокой субстрат-индуцированной дыхательной активности (СИД) (Семенов, Соколов, 2016).

Замкнутость циклов биофильных элементов в почвенной экосистеме, таких как соединения азота (N) и фосфора (P) является важным для грамотного определения биотических процессов (Соколов и др., 2009; Семенов и др., 2011; Элмер и др., 2014; van Bruggen et al., 2006; Clark et al., 1999; Demoling et al., 2007). Известно, что дефицит N и P в почвенной экосистеме является ключевым фактором для функционирования любого естественного педоценоза, особенно важно это в агроэкосистемах (Fauci et al., 1994; Franzluebbers et al., 1995).

Сбалансированное сочетание разнообразия и плотности микроорганизмов с нормальными конкурентными и кооперативными взаимодействиями является ключевым условием для поддержания устойчивости в экосистеме.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Характеристика объектов исследования

Объектами исследования являются почвы и земли сельскохозяйственного назначения Пензенской области. Исследования проводились на 3-х административных уровнях: территория агрохозяйств «Евлашевское» и «Трудовой путь» Кузнецкого района Пензенской области, Кузнецкий район Пензенской области и Пензенская область.

2.1.1. Характеристика агрохозяйств «Евлашевское» и «Трудовой путь»

Агрохозяйства «Трудовой путь» и «Евлашевское» находятся в западной части Пензенской области (в Кузнецком муниципальном районе).

Территория агрохозяйства «Трудовой путь» расположена в 5 км к западу от г. Кузнецка, при автомагистрали Пенза – Кузнецк, между левым берегом р. Труев и железной дорогой. Площадь хозяйства – 3852 га, основными направлениями производства являются птицеводство, животноводство, выращивание зерновых культур (табл.2.1). Основными возделываемыми культурами являются озимая пшеница, подсолнечник, кукуруза.

Агрохозяйство «Евлашевское» находится в 12 км к востоку от Кузнецка, в верховьях р. Труев, рядом с автомагистралью Москва – Самара – Челябинск. Площадь хозяйства – 11233 га (табл.2.1). Предприятие специализируется на растениеводстве. В хозяйстве возделывают кукурузу, которая идет на силос и на зерно, зерновые культуры, предназначенные для заготовки комбикормов, также выращивают подсолнечник на продажу.

Таблица 2.1. Структура сельскохозяйственных угодий агрохозяйств «Трудовой путь» и «Евлашевское».

	Пашня, га	Сенокосы, га	Пастбища, га	Итого, га
«Трудовой путь»	3027 (78,5%)	218 (5,6%)	607 (15,7%)	3852
«Евлашевское»	9905 (88,2 %)	622 (5,5%)	706 (6,2%)	11233

На территории агрохозяйств наблюдается умеренный континентальный климат с умеренно- жарким летом (Dfa по классификации Кёппена) (Peel et al.,

2007). С 2009 по 2022 гг. среднегодовое количество осадков составило 34,02 мм. Среднегодовая сумма осадков, за период с 2009 по 2022 г., составила 426,77 мм.

Так как оба агрохозяйства находятся на небольшом расстоянии друг от друга, они имеют сходные природные характеристики. Рельеф территорий в основном холмисто-равнинный. Лесостепные участки чередуются с открытыми степными, территория пересечена овражно-болотной сетью. Почвы: выщелоченный чернозем, серые и темно-серые лесные, светло-серые лесные. По гранулометрическому составу преобладают легкоглинистые и суглинистые почвы. На территории агрохозяйств развиты процессы водной и овражной эрозии, переуплотнения почвы в результате сельскохозяйственной деятельности (Кузина, Кузин, 2016).

Оба агрохозяйства Пензенской области представительны для лесостепной зоны Поволжья.

2.1.2. Характеристика Кузнецкого района Пензенской области

Климат. Кузнецкий район характеризуется умеренным континентальным климатом с умеренно-жарким летом (Peel et al., 2007). С учетом климатических характеристик, данная территория относится ко второму агроклиматическому району Пензенской области (Атлас Пензенской области, 2020). Зима умеренно холодная и снежная со средней высотой снежного покрова 30–40 см. Средняя температура января: -13 – -15°C ; абсолютный минимум: -46°C . Средняя температура июля $+19$ – 22°C , абсолютный максимум - $+39^{\circ}\text{C}$. Сумма активных температур составляет 2300–2500 $^{\circ}\text{C}$. Безморозный период длится в среднем 120–125 дней. Среднее количество осадков составляет 270 мм в год. (Атлас Пензенской области, 2020).

Рельеф. Территория района расположена в денудационной северо-западной оконечности Приволжской возвышенности в самом ее начале. Кузнецкий район расположен в западной части Приволжской возвышенности, кристаллический фундамент залегает на глубине 1,6–2,2 км. Данная территория

характеризуется пластовыми глубоко расчлененными возвышенными равнинами с олигоцен-миоценовой поверхностью выравнивания (Атлас Пензенской области, 2020).

Рельеф района имеет имеет неравномерный характер, шкала высот увеличивается на восток с 200 до 300 м. Большая часть поверхности представлена элювиально-делювиальными отложениями на четвертичных породах. В основном четвертичные отложения состоят из песков с прослоями гравия, гальки, алевролита и торфа, относятся к периоду верхнего плейстоцена. Пески встречаются в долинах рек (Атлас Пензенской области, 2020).

Почвенный покров. Кузнецкий район расположен в пределах Верхне-Сурского возвышенного остепненно-лесного участка лесостепной зоны (Атлас Пензенской области, 2020). Большая часть района представлена серыми лесными почвами, от светло-серых до темносерых. На водоразделах в остепенённых участках близ г. Кузнецк и в западной части района находятся черноземы выщелоченные и небольшая часть черноземов оподзоленных, среднегумусовых и средней мощности. В поймах рек формируются аллювиальные дерновые насыщенные почвы. В блюдцеобразных, бессточных понижениях и шлейфах пологих склонов встречаются лугово-болотные почвы. Гранулометрический состав всех подтипов почв района варьирует от супесчаного до глинистого и тяжелосуглинистого (Атлас Пензенской области, 2020).

Растительность. Флористическое покрытие данной территории обладает значительной вариативностью, что обусловлено её местоположением на пересечении природных зон лесной и лесостепной территорий. Доминирующим биотопом являются сосново-широколиственные леса, взаимодействующие с ограниченными участками сохранных разнотравно-злаковых степей (северных или луговых).

2.1.3. Характеристика Пензенской области

Климат. Климат Пензенской области можно охарактеризовать как умеренно-континентальный с относительно теплым летом и умеренно-холодной

зимой. Климатические условия данной территории формируются воздействием трех различных климатических зон (Кузина, Кузин, 2016).

Первая зона, направленная с юго-запада, приносит тепло и влажность из Атлантики и Средиземного моря, сопровождаемые легким воздухом и обильными осадками. Вторая зона, исходящая с северо-востока, приносит зимой холод и морозы из арктических регионов, а также характеризуется утренниками и возвратными ветрами весной, а также ранними осенними заморозками. Третья зона, направленная с юго-востока, привносит из Средне-Азиатской пустыни через Нижневолжские равнины зной, засушливость летом, а также снежные бураны и метели зимой (Кузина, Кузин, 2016).

Количество осадков уменьшается, а засушливость возрастает с северо-запада на юго-восток. В связи с такими закономерностями наблюдаются заметные различия в климате между северными и южными, а также западными и восточными районами области (Кузина, Кузин, 2016).

Общие климатические условия рассматриваемой территории выделяются значительными колебаниями климатических факторов в определенные временные отрезки. Летом максимальные температуры достигают до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, в то время как зимой они могут опускаться до $-47\text{ }^{\circ}\text{C}$, сопровождаясь периодами оттепелей и метелей. Амплитуды абсолютных разниц в температурах составляют $52\text{--}87\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Кузина, Кузин, 2016).

Среднегодовая температура воздуха на данной территории варьирует в пределах $+3$ до $+4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наиболее холодным месяцем в году во всей области является январь, когда средние температуры воздуха составляют $-12\text{--}13\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Кузина, Кузин, 2016). Самым теплым месяцем, напротив, является июль: в южной части области средняя температура июля достигает $20,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, в то время как в северной части она уменьшается до $18,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Обычно продолжительность непрерывного существования снежного покрова на данной территории составляет от 128 до 133 дней. Среднегодовое количество осадков варьирует в пределах 450-500 мм. В периоды засушливых лет это количество уменьшается до

350 мм, а в годы с повышенной влажностью оно возрастает до 750 мм. В течение времени с температурой выше 10 °С количество осадков, выпадающих, меняется от 225 до 275 мм, что составляет около 45-55% от среднегодовой нормы осадков (Кузина, Кузин, 2016).

Рельеф. Местный рельеф на территории Пензенской области находится в прочной связи с геологической структурой этой местности. Особенности местной географии обусловлены геологическим строением данной территории, которая занимает пространство между двумя крупными речными системами – Волгой и Доном (Кузина, Кузин, 2016).

С точки зрения геоморфологии, данная область входит в состав Приволжской возвышенности, которая постепенно спускается с востока на запад (Рис. 2.1). На западной границе области это переходит в низменную равнину, включающуюся в состав Окско-Донской низменности. (Кузина, Кузин, 2016)

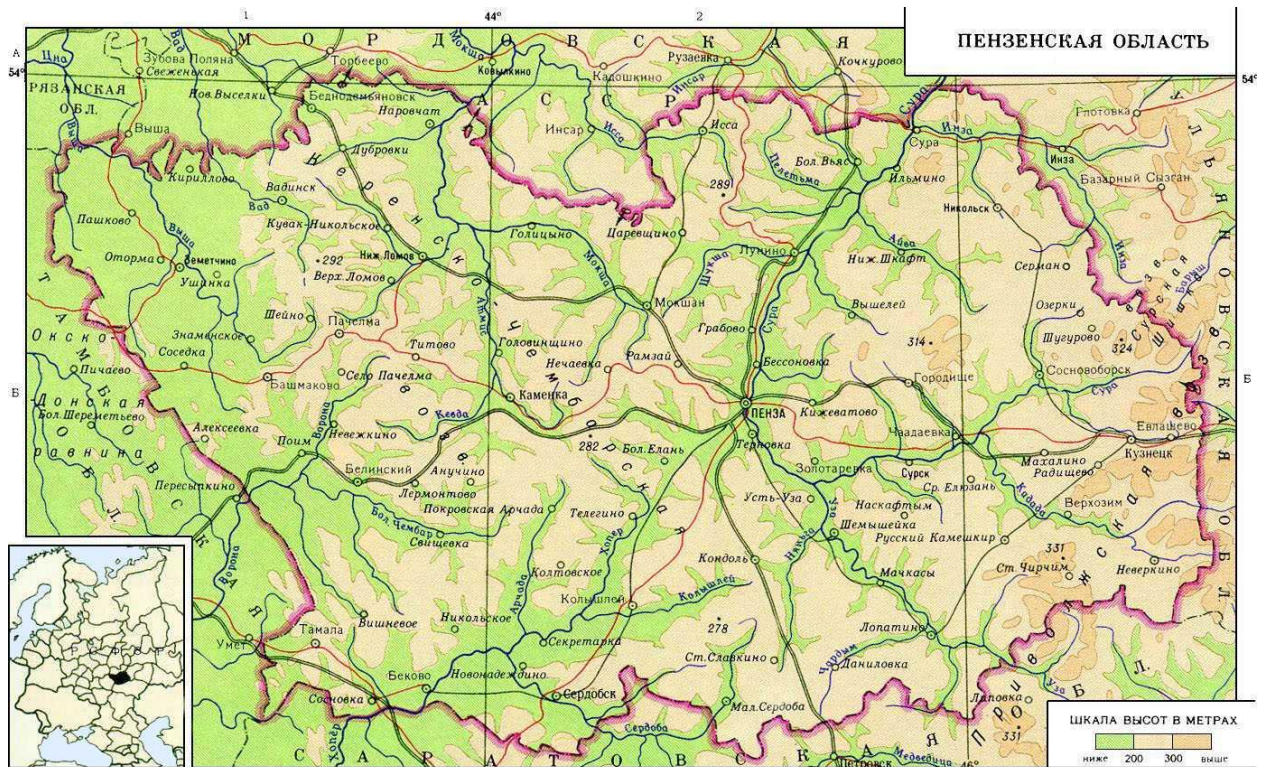


Рисунок 2.1. Физическая карта Пензенской области (Атлас Пензенской области, 2020)

Формирование рельефа сильно зависело от нескольких факторов, включая воздействие ледников, поднятие некоторых участков и опускание других, а также разделение поверхности на глубокие речные долины. В результате

взаимодействия этих процессов сформировались значительные возвышенности, низины и отдельные локальные поднятия.

Современные системы овражно-балочных образований демонстрируют сложное ветвление. Особенно насыщенными оврагами являются склоны южной экспозиции, так как они получают более интенсивное солнечное тепло весной. В окрестностях населенных пунктов наблюдается резкое увеличение количества оврагов. (Кузина, Кузин, 2016)

На востоке области овражно-балочная сеть представлена наиболее выражено – плотность оврагов превышает 0,4 км на 1 км². Такую же интенсивность системы оврагов имеет около 50% территории западной части области. Эрозия поверхности приносит значительный экономический ущерб, включая засорение и обледенение рек, озер и прудов, вынос почв и снижение урожайности. (Кузина, Кузин, 2016)

Почвенный покров. Почвенное покрытие Пензенской области отличается разнообразием, обусловленным физико-географическими условиями (Рис. 2.2.). Перемещаясь с севера на юг, изменяется характер почв: северные районы западной части имеют оподзоленные и выщелоченные черноземы, а на юге – выщелоченные и типичные черноземы (Кузина, Кузин, 2016).

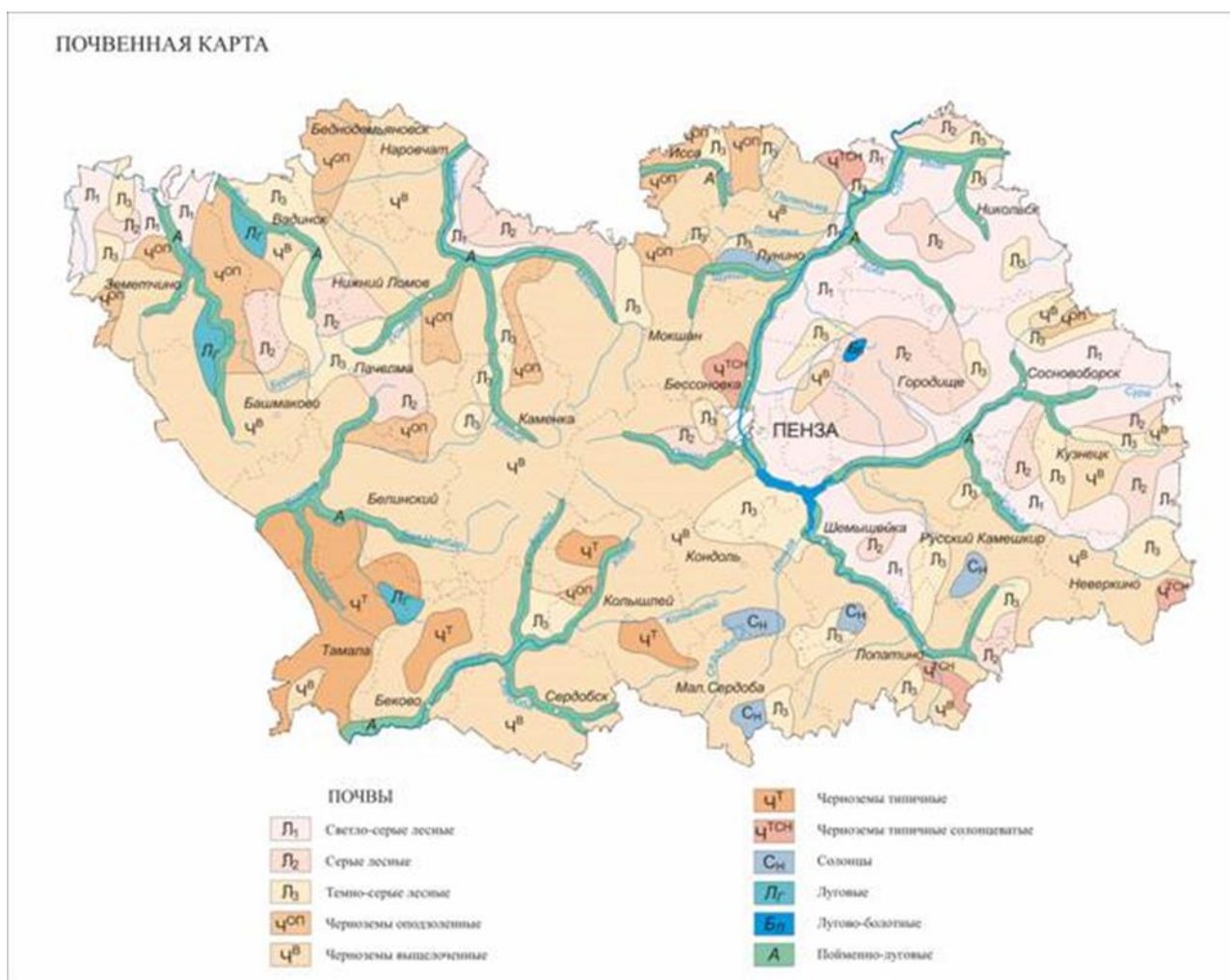


Рисунок 2.2. Почвенная карта Пензенской области (Атлас Пензенской области, 2020)

В восточной части области отмечается снижение серых лесных почв при движении с севера на юг. Всего лишь треть территории принадлежит лиственно-лесной зоне. Здесь преобладают серые лесные почвы (Кузина, Кузин, 2016).

Лесостепь, занимающая две трети области, характеризуется разнообразием почвенного покрова, отражающим переход от лесной к степной зоне. Подзолистый процесс менее выражен, а дерновый процесс усилен. Почвы этой зоны характерны для Среднерусской почвенно-географической провинции лесостепной зоны (Рис. 2.3.). Смещение лесных и степных формаций обусловлено чередованием серых лесных и черноземных почв, с оподзоленными, выщелоченными и типичными черноземами (Кузина, Кузин, 2016).

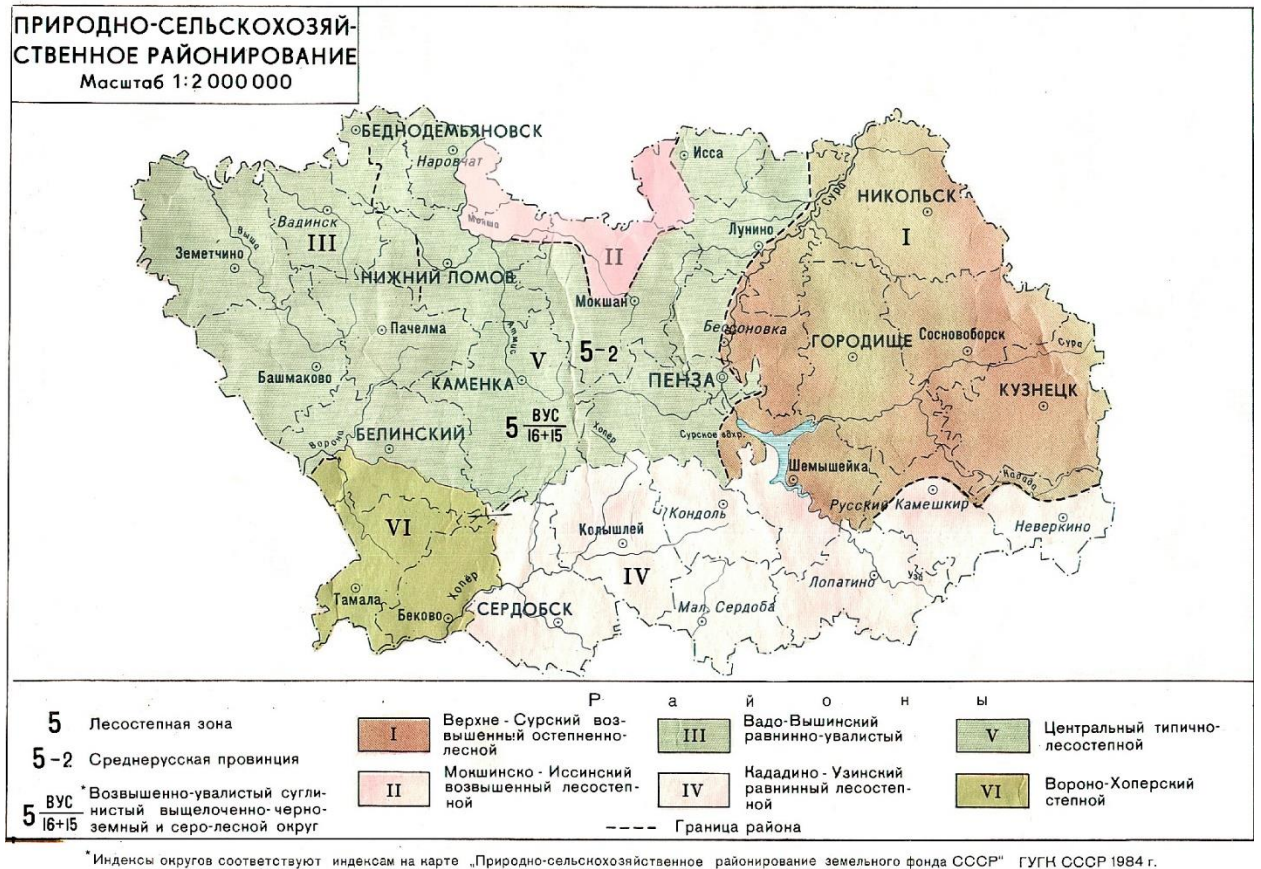


Рисунок 2.3. Природно-сельскохозяйственное районирование Пензенской области (Атлас Пензенской области, 2020)

Растительность. Флористическое покрытие территории Пензенской области, оказывая влияние на процессы почвообразования, обладает своими характерными особенностями, которые сформировались в ходе длительной исторической эволюции. Эти особенности уходят в древние времена и отражают в себе широкий спектр разнообразных почвообразующих пород, разнообразный рельеф и уникальные климатические условия, рассмотренные выше (Кузина, Кузин, 2016).

Большая часть области внутри Восточно-Европейской провинции лесостепной зоны. Северо-западная окраина (Земетчинский район) представляет переходную полосу к зоне смешанных или хвойно-широколиственных лесов. Южные районы (Тамалинский, части Сердобского и Бековского районов) имеют растительный покров, свойственный переходной полосе, который со временем принимает черты разнотравно-дерновинно-злаковой подзоны степной зоны (Кузина, Кузин, 2016).

Восточная часть области более лесистая, чем западная и центральная. В северных районах лесные массивы крупнее, особенно на северо-востоке, вдоль правого берега реки Суры, с сосредоточением сосновых боров и лиственных лесов, а также небольших участков степной растительности. Вдоль правого берега реки Мокши находится большой массив дубравных лесов (Большой Замокшинский лес). На северо-западной окраине области расположен смешанный лес с участием ели, а между лесами широкие открытые пространства с дубравами посреди полей. По направлению с севера на юг площади под лесами уменьшаются, а поля на бывших степях расширяются (Кузина, Кузин, 2016).

2.2. Методы исследования

2.2.1. Полевые методы исследования

Отбор смешанных проб почвы проводился с помощью равномерной сетки с шагом 450 м ГОСТ 17.4.4.02-2017 "Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа" и Методическими рекомендациями по выявлению деградированных и загрязненных земель (1996). Исследование охватило площадь в размере 2025 га. Пробные участки имели размер 10 м x 10 м и были отобраны с использованием почвенного бура. Отбор проб проводился летом 2020 года.

Процедура формирования смешанных проб включала сбор точечных образцов одинаковой массы с одного и того же пробного участка. Применялся метод конверта, в соответствии с которым отбирались пять точечных образцов с пробного участка: четыре точки в углах участка и одна в его центре. Масса каждого точечного образца составляла не менее 200 г, тогда как масса окончательной смешанной пробы составляла не менее 1 кг (Крючков, 2022).

Исследование проводилось на глубине 0–20 см от поверхности почвы. Общее количество отобранных смешанных проб составило 100, по 50 проб в каждом агрохозяйстве. Детали процесса отбора проб представлены на схеме пробоотбора, изображенной на рисунках 2.4 и 2.5.

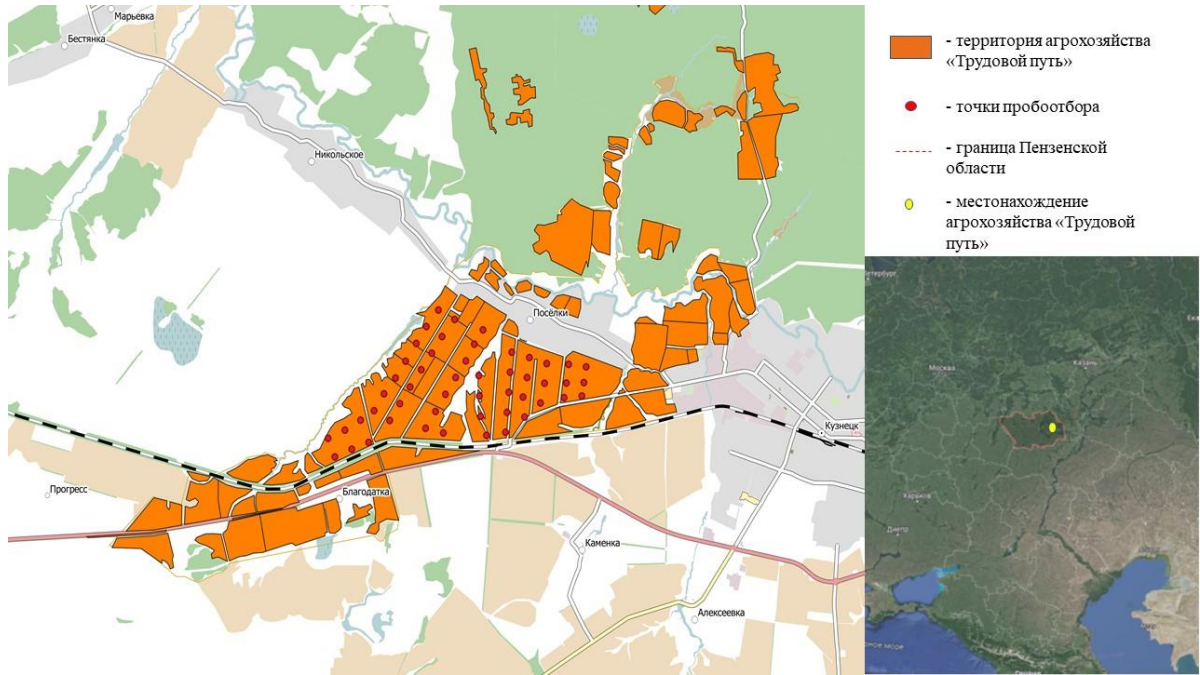


Рисунок 2.4. Схема отбора смешанных проб почвы на территории агрохозяйства «Трудовой путь»

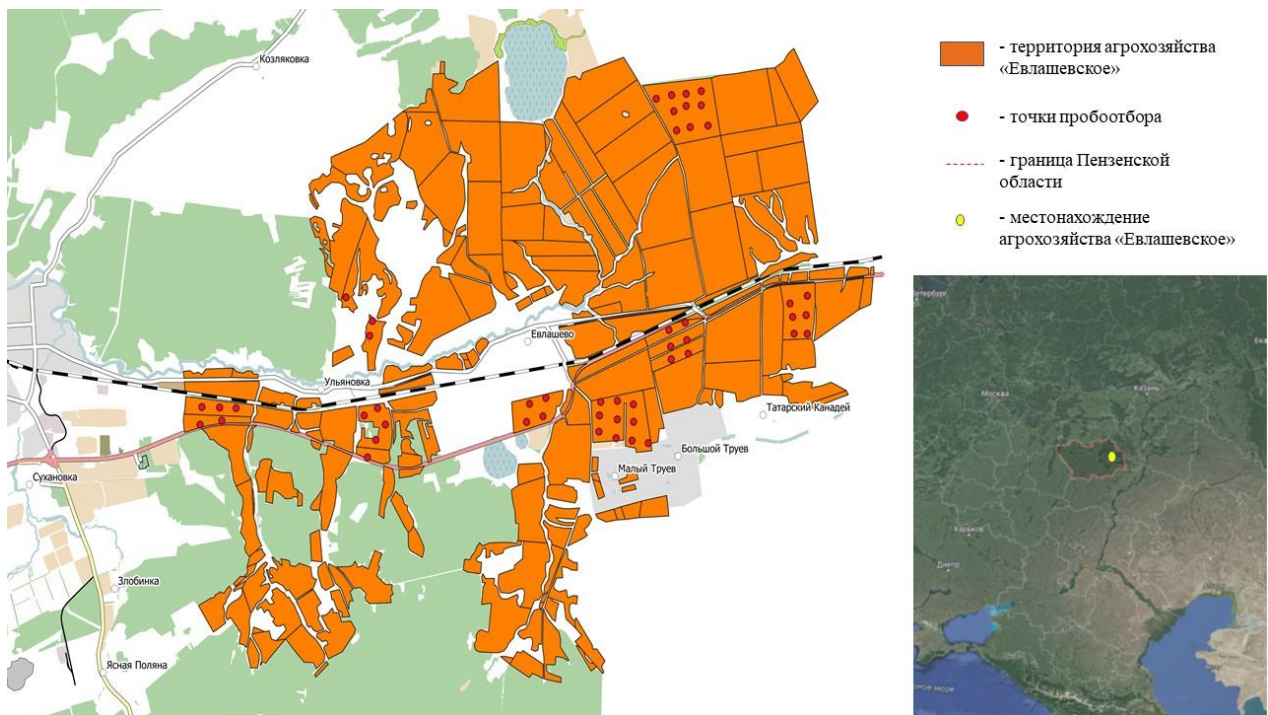


Рисунок 2.5. Схема отбора смешанных проб почвы на территории агрохозяйства «Евлашевское»

В процессе интерполяции данных использовался метод регрессии эмпирического байесовского кригинга (РЭБК) с применением программы QGIS 3.28.1 (Gribov, Krivoruchko, 2020). Этот подход совмещает методы кригинга и регрессионного анализа с целью достижения более точных прогнозов, превосходящих результаты отдельных регрессионных анализов и кригинга

Для подготовки картографического материала использовалась программа QGIS 3.28.1.

В таблице 2.2 -1 приведены тип трансформации и используемая модель вариограммы для каждого из исследуемых параметров.

Таблица 2.2-1. Параметры РЭБК (Gribov, Krivoruchko, 2020).

№ п/п	Показатель	Трансформация и модель вариограммы	Независимая переменная
1	Гумус	Лог-эмпирическая, К-Бесселя	ЦМР LS-фактор Почвенная карта
2	pH солевой вытяжки	Лог-эмпирическая, К-Бесселя	
3	Обменный калий	Эмпирическая, Уиттла	
4	Подвижный фосфор	Эмпирическая, Уиттла	

2.2.2. Лабораторные методы исследования

В лабораторных условиях в почвенных образцах определялись следующие почвенные свойства:

- 1) Содержание подвижных форм фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО., 1992).
- 2) рН водной вытяжки. (ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки., 2011).
- 3) рН солевой вытяжки (ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО, 1986)
- 4) Содержание гумуса по Тюрину в модификации Никитина с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель (Минеев и др., 2001).
- 5) Определение плотности почвы по методу Н.А. Качинского.
- 6) Определение субстрат-индуцированного дыхания почвы (СИД)

СИД почвы оценивали по скорости начального максимального дыхания микроорганизмов после обогащения почвы или растительной подстилки глюкозой. (Anderson, 1978) Навеску почвы (5 г) помещали во флакон объемом 15 мл, добавляли раствор глюкозы (0.2 мл; концентрация 10 мг/г почвы), герметично закрывали и фиксировали время. Обогащенный образец почвы/подстилки инкубировали (5-7 ч при 22°C), затем отбирали пробу воздуха из флакона и анализировали ее с помощью газового хроматографа. Время отбора газовой пробы также фиксировали. Скорость СИД выражали в мкг CO_2 -C/г сухой почвы в час (Ананьева и др., 2011; Семенов, 2016).

- 7) Определение базального дыхания (БД)

Базальное дыхание определяли по скорости выделения CO_2 почвой за 24 ч ее

инкубации при 22°C и 60% ПВ. Определение проводили так же, как и для СИД, только вместо раствора глюкозы в почву добавляли воду. Скорость базального дыхания выражали в мкг CO₂-C/г сухой почвы в час (Ананьева и др., 2011, Семенов, 2016).

8) Микробный метаболический коэффициент (q_{CO_2}) рассчитывали, как отношение скорости базального дыхания к углероду микробной биомассы (Ананьева и др., 2011).

9) Определение актуальной активности азотфиксации (ацетиленовый метод).

Для определения актуальной нитрогеназной активности навески почвы (5 г) помещали в пенициллиновые флаконы, герметично закрывали резиновыми пробками и при помощи шприца вводили 1 мл ацетилена. Флаконы инкубировали в термостате при температуре 25 °С в течение часа, после чего шприцем из каждого флакона отбирали пробу газовой фазы объемом 1 мл и анализировали на газовом хроматографе “Кристалл – 2000”. Характеристики “Кристалл – 2000”: длина колонки – 1м, диаметр – 3мм, наполнитель – Porapak N 80/100, температура колонки – 60 °С, температура детектора – 160 °С, температура испарителя – 100 °С, расход газа-носителя (N₂) – 50 мл/мин, воздуха – 280 мл/мин, водорода – 28 мл/мин. Определение проводили в трехкратной повторности. Активность азотфиксации выражали в нг C₂H₄/г·час (Эмер и др., 2014; Пыркин и др. 2018).

10) Определение потенциальной активности денитрификации.

Навески почвы (5 г) помещали в пенициллиновые флаконы, увлажняли до 60 % от ПВ (полной влагоемкости). Затем вносили глюкозу (из расчета 2,5 мг на г воздушно-сухой почвы), нитрат калия (0,3 мг на г почвы) и добавляли 3 мл стерильной воды, флаконы укупоривали резиновой пробкой. Для создания микроаэрофильных условий, воздух из флаконов вытесняли аргоном в течение 30 сек., затем шприцем вводили 1 мл ацетилена для ингибирования редуктазы закиси азота. Флаконы тщательно встряхивали и помещали в термостат при 25 °С на сутки, после чего проводили измерение концентрации закиси азота. Определение

актуальной денитрификации. Навеску свежей почвы (5 г) помещали в пенициллиновые флаконы. Герметично закрывали резиновыми пробками и в течение 1 мин продували аргоном, вводили 1 мл ацетилена и инкубировали при температуре 25 °С. Измерение концентрации закиси азота проводили на третьи-пятыи сутки. Анализ газа (закиси азота) проводили на газовом хроматографе “Кристалл-5000” с детектором электронного захвата (ДЭЗ). Характеристика прибора: длина колонки – 1 м, диаметр – 3 мм, наполнитель – Porapak N 80/100, температура колонки – 50 °С, температура детектора – 240 °С, испарителя – 100 °С, расход газа-носителя (N₂) – 90 мл/мин. Определение активности денитрификации проводили в трехкратной повторности. Активность денитрификации выражали в нг N₂O/г·час (Эмер и др., 2017; Пыркин и др. 2018).

1) Определение актуальной денитрификации.

Навеску свежей почвы (5 г) помещали в пенициллиновые флаконы. Герметично закрывали резиновыми пробками и в течение 1 мин продували аргоном, вводили 1 мл ацетилена и инкубировали при температуре 25 °С. Измерение концентрации закиси азота проводили на третьи-пятыи сутки. Анализ газа (закиси азота) проводили на газовом хроматографе “Кристалл-5000” с детектором электронного захвата (ДЭЗ). Характеристика прибора: длина колонки – 1 м, диаметр – 3 мм, наполнитель – Porapak N 80/100, температура колонки – 50 °С, температура детектора – 240 °С, испарителя – 100 °С, расход газа-носителя (N₂) – 90 мл/мин. Определение активности денитрификации проводили в трехкратной повторности. Активность денитрификации выражали в нг N₂O/г·час (Эмер и др., 2017; Пыркин и др. 2018).

2) Определение эмиссии метана.

Навески почвы (5 г), просеянной через сито (1 мм) помещали в пенициллиновые флаконы, увлажняли стерильной водой до влажности 60 % от полной влагоемкости. Флаконы укупоривали резиновой пробкой и помещали в термостат при температуре 25 °С на семь суток. Затем из флаконов отбирали пробу (1 мл), и на хроматографе “Кристалл-5000” с пламенноионизационным детектором

(ПИД) определяли количество образовавшегося метана. Определение проводили в трехкратной повторности. Эмиссию метана выражали в нг $\text{CH}_4/\text{г}$ почвы (Новиков и др., 2010; Пыркин и др. 2018).

13) Общую численность бактерий в почвенной суспензии определяли по общепринятой методике (Методы почвенной биологии и биохимии, 1991) с помощью красителя акридина оранжевого (АО) с использованием люминесцентного микроскопа Zeiss Axioskop 2 plus (Германия).

14) Численность метаболически активных бактерий и архей.

Процедура определения метаболически активных клеток бактерий и архей с использованием молекулярного метода гибридизации *in situ* (метод FISH) включала в себя десорбцию клеток от почвенных частиц, фиксацию клеток, нанесение фиксированного образца на поверхность предметного стекла, гибридизацию со специфичными пробами и микроскопирование (Семенов и др., 2016; Манучарова, 2008; Amann et al., 1995). Десорбцию клеток осуществляли путем обработки почвенной суспензии ультразвуком. Фиксацию клеток проводили с помощью формальдегида. Для гибридизации использовали рРНК-специфичные олигонуклеотидные пробы для определения клеток бактерий и для клеток архей меченные флуоресцентным красителем Cy3 (~550/570 нм) (Семенов и др., 2016; Amann et al., 2000; Daims et al., 1999). Условия гибридизации и промывания различались в зависимости от используемой пробы. В течение гибридизации образцы инкубировали при температуре 46°C в герметичных сосудах, насыщенных парами воды, формамида и гибридизационного буфера. Этап промывки проходил при более высокой температуре (49°C) и осуществлялся для удаления избыточных молекул специфичной пробы, чтобы избежать неспецифического связывания. Стекла с готовыми препаратами анализировали с помощью микроскопа ZEISS Axioskop 2 plus (Германия) со светофильтрами Filter set 15 для Cy3-меченых зондов. Количество метаболически активных микробных клеток в образцах определяли путем учета количества гибридизованных с зондами клеток в 50 полях зрения микроскопа на одной ячейке, с последующим расчетом численности на 1 г

почвы по формуле (11) (Семенов и др., 2016).

$$N = S_1 * a * n - V * S_2 * c, \quad (11)$$

где N – число клеток в I г почвы;

a – число клеток в одном поле зрения (усредненное по всем препаратам);

S_1 – площадь препарата, мкм²;

n – показатель разведения почвенной суспензии, мл;

V объем капли, наносимой на стекло, мл;

S_2 – площадь поля зрения микроскопа, мкм²;

c – навеска почвы, г.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программного обеспечения Microsoft Office 2019 и Statistica 10.

2.2.3. Определение ущерба от деградации почв и земель

Определение ущерба от деградации почв и земель выполнялось согласно методике 1994 года. Подробное описание методики дано в главе 1.2.1.

Расчет ущерба от деградации почв проводили в соответствии с «Методикой определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994) по формуле (12):

$$\text{Ущ} = \text{Нс} \times S \times \text{Кэ} \times \text{Кс} \times \text{Кп} + \text{Дх} \times S \times \text{Кв}, \quad (12)$$

где:

Нс – нормативная стоимость участка, руб./га (определялась по величине кадастровой стоимости в соответствии с Приказом Министерства государственного имущества Пензенской области от 8 июня 2022 года N 202-пр «Об утверждении результатов государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения в Пензенской области» (2022);

Дх - годовой доход с единицы площади, руб./га (рассчитывался как среднее арифметическое дохода агрохозяйств «Евлашевское» и «Трудовой путь» с 1 га за период с 2017–2019 гг. по материалам, предоставленным агрохозяйствами);

S - площадь деградированных почв и земель (га);

Кэ - коэффициент экологической ситуации территории;

Кв - коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель;

Кс - коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель;

Кп - коэффициент для особо охраняемых территорий.

Определение степени деградации почв производится согласно Таблице 2.2–2 (Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель, 1994).

Таблица. 2.2. - 2. Определение степени деградации почв и земель по выбранным показателям (Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель, 1994)

	Степень деградации				
	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
Уменьшение содержания обменного калия, в % от средней степени обеспеченности	<10	11-20	21-40	41-80	>80
Уменьшение степени кислотности в % от средней степени кислотности	<10	11-15	16-20	21-25	>25
Уменьшение содержания подвижного фосфора, в % от средней обеспеченности	<10	11-20	21-40	41-80	>80

Показатели эталонной почвы приведены в таблице 2.2.-3. Значения коэффициентов в формуле (1) приведены в таблице 2.2-4.

Таблица. 2.2. - 3. Показатели эталонной почвы, модель высокого плодородия чернозёма выщелоченного (Савич и др., 2003) для расчёта ущерба от деградации на территории хозяйств «Евлашевское» и «Трудовой путь»

	Эталон рН	Эталон гумус	Средняя степень обеспеченности калием	Средняя степень обеспеченности фосфором
Значение	6,2	6 %	150 мг/кг	150 мг/кг

Таблица 2.2. -4. Значения коэффициентов в формуле (1) для расчета ущерба от деградации.

	Значение	Источник
Нс	57 300 руб.	(Приказ Министерства государственного имущества Пензенской области от 8 июня 2022 года N 202-пр, 2022)
Кэ	1,9	(Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель, 1996)
Кв	0,9	
Кс	1 – 4 степень деградации; 0,8 – 3 степень деградации; 0,5 – 2 степень деградации; 0,2 – 1 степень деградации	
Кп	1	
Дх	62 800 руб.	(Данные агрохозяйств, усредненные за 2016-2019 гг.)

Данные о состоянии почв на территории Кузнецкого района и Пензенской области были предоставлены агрохимической службой ФГБУ ГЦАС «Пензенский».

Данные для расчета степени деградации почв и земель для территории района и области приведены в таблице 2.2.–5.

Таблица. 2.2. - 5. Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель на территории Кузнецкого района и Пензенской области

№ п/п	Район	Нс (Приказ Министерства государственного имущества Пензенской области от 8 июня 2022 года N 202-пр, 2022)	Кэ, Кв, Кс (Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель, 1994)
1	Башмаковский	59100	Кэ - 1,9 Кв: 0,9 – для всех остальных показателей Кс 1 – 4 степень деградации 0,8 – 3 степень деградации 0,5 – 2 степень деградации 0,2 – 1 степень деградации
2	Спаский	59500	
3	Бековский	67600	
4	Белинский	56800	
5	Бессоновский	57800	
6	Вадинский	35000	
7	Городищенский	23000	
8	Земетчинский	44500	
9	Иссинский	59900	
10	Каменский	52500	
11	Камешкирский	44100	
12	Колышлейский	65800	
13	Кузнецкий	57300	
14	Лопатинский	50500	

№ п/п	Район	Нс (Приказ Министерства государственного имущества Пензенской области от 8 июня 2022 года N 202-пр, 2022)	Кэ, Кв, Кс (Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель, 1994)
15	Лунинский	54300	Кэ - 1,9 Кв: 0,9 – для всех остальных показателей Кс 1 – 4 степень деградации 0,8 – 3 степень деградации 0,5 – 2 степень деградации 0,2 – 1 степень деградации
16	Малосердобинский	63400	
17	Мокшанский	53600	
18	Наровчатский	51300	
19	Неверкинский	55100	
20	Нижнеломовский	47500	
21	Никольский	16400	
22	Пачелмский	55000	
23	Пензенский	49000	
24	Сердобский	59100	
25	Сосновоборский	26400	
26	Тамалинский	69800	
27	Шемьшейский	40700	
28	Пензенская область	51400	
15	Лунинский	54300	
16	Малосердобинский	63400	
17	Мокшанский	53600	
18	Наровчатский	51300	
19	Неверкинский	55100	
20	Нижнеломовский	47500	
21	Никольский	16400	
22	Пачелмский	55000	
23	Пензенский	49000	
24	Сердобский	59100	
25	Сосновоборский	26400	
26	Тамалинский	69800	
27	Шемьшейский	40700	
28	Пензенская область	51400	

Предоставленные агрохимической службой данные, не содержали пространственной привязки. Предоставленные данные содержали информацию о площадях почв по группировкам содержания исследуемых показателей. Для определения степени деградации, соответствующей контуру, рассчитывалась

степень деградации по нижней границе группировки.

2.2.4. Определение нейтрального баланса деградации земель

Нейтральный баланс деградации земель (НБДЗ) рассчитывался двумя методами: по стандартной методике и модифицированной.

1) Стандартная методика НБДЗ. Для расчетов по стандартной методике НБДЗ использовался модуль Trends.Earth (Trends. Earth. Conservation International, 2018). Период исследования брался 2000 по 2010 года. Деградация оценивалась по 3-м основным параметрам, рекомендованным КБО ООН: продуктивность земель, изменение наземного покрова и запасы ПОУ в 30 см слое. Подробное описание расчета показателей приведено в Главе 1.2-2 (Макаров и др., 2021).

2) Модифицированная методика НБДЗ. В стандартную методику был внесен ряд корректив. Индикатор запасов ПОУ был заменён на другой индикатор - содержание (не запасы) органического вещества в пахотном горизонте, который анализировался на базе результатов натурного обследования, а также данных агрохимслужбы области. Т. к. одних данных по гумусу для характеристики деградации почвенного покрова недостаточно, были использованы также региональные данные агрохимической службы Пензенской области по содержанию обменного калия и подвижного фосфора (по методу Чирикова) в пахотном горизонте. Сравнение по перечисленным выше параметрам проводилось по средним значениям данных показателей на землях сельскохозяйственного назначения. Период исследования брался с 2000 по 2010 гг. (Макаров и др., 2021).

Исследуемые параметры приведены в Таблице 2.2.-6.

Таблица. 2.2 - 6. Применяемые параметры для расчета НБДЗ (Макаров и др., 2021)

Модификация методики	Хозяйство	Район	Область
Стандартная	Продуктивность земель Наземный покров Запасы почвенного органического углерода		
Модифицированная	Содержание подвижного фосфора Содержание обменного калия Содержание гумуса Кислотность		

Величина НБДЗ рассчитывалась по разнице между процентом деградированных земель и проградированных.

2.2.5. Определение экономики деградации земель

Подробное описание методики ЭДЗ приведено в Главе 1.2.3. Расчет сценариев землепользования проводился с учетом только одной экосистемной услуги – продукционной (урожайности растительных культур). Цена действия рассчитывалась согласно формуле (2) главы 1.2.3. Цена бездействия рассчитывалась согласно формуле (3). главы 1.2.3. Ущерб от деградации рассчитывался согласно формуле (1) главы 1.2.1. Данные для расчета приведены в таблице 2.2–7 (Строков и др., 2022).

Таблица. 2.2 - 7. Используемые коэффициенты для расчета цены действия (Строков и др., 2022)

Параметр	Значение	Источник данных
A_i	Площадь деградированной земли	Согласно главе 2.2.3
p^t	1,1	Средняя ставка дисконтирования на момент 2019 г.
z_i	Рассчитывался как произведение ущерба от деградации согласно формуле (2) на площадь контуров подверженных деградации	Согласно главе 2.2-3
x_i	Рассчитывался как произведение затрат на производство растительной продукции на площадь деградированного биома	Затраты на производство растительной продукции считались согласно официальным данным, представленным на сайте fedstat.ru
$p_j x_j$	Произведение выручки с реализации растительной продукции на площадь деградированного биома	Выручка с реализации растительной продукции считалась согласно официальным данным, представленным на сайте fedstat.ru (Федеральная служба статистики, 2021)
T	20 лет	

ГЛАВА 3. ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ ПО ОСНОВНЫМ АГРОХИМИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

3.1. Характеристика основных агрохимических показателей почв агрохозяйств «Евлашевское» и «Трудовой путь»

Характеристика основных агрономически ценных почвенных свойств (содержание гумуса, доступного фосфора и подвижного калия, кислотность) на территории хозяйств «Трудовой путь» и «Евлашевское» осуществлялась в соответствии с данными агрохимического обследования, проводимого ФГБУ ГЦАС «Пензенский» в 2020 г. (табл. 1, Приложение). На территории хозяйств, кроме того, были проанализированы смешанные образцы, отобранные с учетом особенностей почв территории агрохозяйства, в количестве 100 шт. на перечисленные выше основные почвенные (также плотность сложения поверхностных горизонтов почвы) (табл. 9).

Содержание гумуса

По данным областной агрохимической службы и проведенных анализам содержание гумуса на территории агрохозяйств «Трудовой путь» варьирует от 0,5 % до 6,9 % (табл. 3.1.-1). Большая часть территории относится к низко- и среднеобеспеченной гумусом (более 3 %).

Таблица 3.1.-1. Группировка почв по содержанию гумуса и обеспеченность им растений (Бондаренко, 2016)

Номер группы	Содержание гумуса, %	Степень обеспеченности растений
1	<2	очень низкая
2	2,1-4	низкая
3	4,1-6	средняя
4	6,1-8	повышенная
5	8,1-10	высокая
6	>10	очень высокая

Таблица 3.1.-2. Статистические показатели (мин.зн.-макс.зн./ср.зн.) по результатам агрохимического обследования территории, проводимого ФГБУ ГЦАС «Пензенский», 2020 год обследования

Агрохимические показатели	Метод измерения	«Трудовой путь» среднее ± ст. отклонение	«Евлашевское» среднее ± ст. отклонение
pH KCl	потенциометрический метод (ГОСТ 26483-85)	5,7±0,33	5,5±0,33
pH H ₂ O	потенциометрический метод (ГОСТ 26423-85)	6,3±0,3	6,1±0,3
Содержание гумуса, %	по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-93)	4,7±0,83	5,6±0,83
Содержание обменного калия (K ₂ O), мг/100 г	по Чирикову (ГОСТ 26204-91 в модификации ЦИНАО)	37,1±0,76	25,6±0,76
Содержание подвижного фосфора (P ₂ O ₅), мг/100 г	по Чирикову (ГОСТ 26204-91 в модификации ЦИНАО)	7,4±0,46	6,3±0,46
Плотность, г/см ³	По Н.А. Качинскому	1,4±0,03	1,4±0,03

Содержание подвижного фосфора

Почвы агрохозяйств характеризуются значительным варьированием содержания доступного фосфора: степень обеспеченности колеблется от очень низкой (11,5 и 5 ppm) до очень высокой (>250 ppm). Исследуемая территория преимущественно относится к низкой и средней степени обеспеченности растений фосфором (25 – 100 ppm) (табл. 3.1.-3).

Таблица 3.1.-3. Содержание доступного фосфора в почве (P₂O₅) и обеспеченность им растений (Бондаренко, 2016)

Номер группы	P ₂ O ₅ , ppm	Обеспеченность растений
1	<25	Очень низкая
2	26-50	Низкая
3	51-100	Средняя
4	101-150	Повышенная
5	151-250	Высокая
6	>250	Очень высокая

Содержание обменного калия

В целом, для почв обоих агрохозяйств отмечается средний уровень обеспеченности растений обменным калием (25 – 380 ppm). Однако встречаются

участки с очень низкой и очень высокой обеспеченностью (табл. 3.1.-4).

Таблица 3.1.-4 Содержание обменного калия в почве (K_2O) и обеспеченность им растений (Бондаренко, 2016)

Номер группы	K_2O , ppm	Обеспеченность растений
1	<40	Очень низкая
2	41-80	Низкая
3	81-120	Средняя
4	121-170	Повышенная
5	171-250	Высокая
6	>250	Очень высокая

Кислотность

По показателю рН в 1н. KCl на территории локально наблюдается увеличение уровня кислотности до средне- и сильно кислых (4,1 – 5,0 рН) (табл. 3.1.-5).

Таблица 3.1.-5. Группировка почв по степени кислотности (Бондаренко, 2016)

Номер группы	рН в 1 Н. KCl	Степень кислотности
1	<4	Очень сильно кислые
2	4,1-4,5	Сильнокислые
3	4,6-5,0	Среднекислые
4	5,1-5,5	Слабокислые
5	5,6-6,0	Близкие к нейтральным
6	>6,1	Нейтральные

Плотность сложения поверхностных горизонтов почвы

Показатель плотности сложения поверхностных горизонтов почв на территории агрохозяйств изменяется в пределах от 1,33 до 1,46 г/см³, среднее значение составляет 1,4 г/см³ (табл. 3.1-6.), что соответствует среднему уплотнению, способствующего развитию анаэробных условий и угнетению роста сельскохозяйственных культур (табл. 3.1.-7).

Таблица 3.1.-6. Статистические показатели по результатам собственного обследования территории агрохозяйства, 2020 год обследования

Свойство	Метод измерения	Статистические показатели	Результат
рН Н ₂ О	потенциометрический метод (ГОСТ 26423-85)	мин.знач.	5,29
		макс.знач.	6,94
		среднее	6,26
		ст.откл.	0,30
		ошибка среднего	0,08
рН КСl	потенциометрический метод (ГОСТ 26483-85)	мин.знач.	4,77
		макс.знач.	6,47
		среднее	5,73
		ст.откл.	0,33
		ошибка среднего	0,11
Содержание гумуса, %	по Никитину с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель	мин.знач.	1,62
		макс.знач.	8,10
		среднее	4,71
		ст.откл.	0,83
		ошибка среднего	0,11
Плотность, г/см ³	по Качинскому	мин.знач.	1,33
		макс.знач.	1,46
		среднее	1,37
		ст.откл.	0,03
		ошибка среднего	0,01
Содержание обменного калия (К ₂ О), ppm	по Чирикову (ГОСТ 26204-91 в модификации ЦИНАО)	мин.знач.	87,00
		макс.знач.	1120,0
		среднее	370,64
		ст.откл.	49,34
		ошибка среднего	5,76
Содержание подвижного фосфора (P ₂ O ₅), ppm	по Чирикову (ГОСТ 26204-91 в модификации ЦИНАО)	мин.знач.	38,2
		макс.знач.	265,0
		среднее	74,16
		ст.откл.	45,47
		ошибка среднего	6,46

Таблица 3.1.-7. Показатели плотности сложения (для 0-20 см минерального слоя) (Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель, 2013)

Градации	Влияние на плодородие почв, окружающую среду, растительность и здоровье человека
0,9 - 1,2 (оптимум)	Почва хорошо проводит воду и воздух. Растения чувствуют себя нормально.
1,2 - 1,4 (слабое уплотнение)	Частичное снижение впитываемости влаги и аэрации. Большая часть растений не реагирует.
1,4 - 1,5 (среднее уплотнение)	Резкое снижение впитываемости и газообмена, усиление поверхностного стока. Проявляется угнетение роста растений, развитие анаэробных процессов.
1,5 - 1,6 (сильное уплотнение)	Сильное угнетение роста растений, анаэробнозис, сильный поверхностный сток и эрозия почвы.
> 1,6 (переуплотнение)	Почва полностью непригодна для роста растений и без рыхления они обречены на гибель. Почва практически не проводит воду и воздух.

3.2. Характеристика основных агрохимических показателей почв Кузнецкого муниципального района и Пензенской области в целом

Содержание гумуса

Согласно литературным источникам, обработавших данные областной агрохимической службы ФГБУ ГЦАС «Пензенский» (табл. 3.2.-1), основная доля по площади Кузнецкого района и области относится к среднеобеспеченной гумусом (4,1 – 6%).

Таблица 3.2.-1. Группировка почв сельскохозяйственных угодий Пензенской области в разрезе районов по содержанию гумуса, % (по состоянию на 1.01.2020)

Административные районы	Группировка почв по содержанию гумуса												Средневзвешенное содержание, %
	очень низкое		низкое		среднее		повышенное		высокое		очень высокое		
	0-2,0		2,1 - 4,0		4,1 -6,0		6,1 -8,0		8,1 -10,0		> 10		
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	
Вадинский	0,6	1,0	10,4	17,1	36,3	59,6	13,2	21,7	0,2	0,3	0,0	0,0	5,1
Городищенский	16,4	25,2	28,9	44,3	17,3	26,5	2,6	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2
Земетчинский	9,4	11,1	7,5	8,8	39,5	46,5	25,5	30,0	2,8	3,3	0,3	0,4	5,2
Иссинский	0,0	0,0	1,6	2,4	7,7	11,6	48,1	72,4	8,8	13,3	0,3	0,5	7,0
Никольский	16,1	26,1	25,2	40,8	14,1	22,8	5,8	9,4	0,5	0,8	0,0	0,0	3,4
Пачелмский	0,4	0,7	7,1	12,7	24,8	44,2	22,9	40,8	0,9	1,6	0,0	0,0	5,6
Сосновоборский	4,5	9,9	11,6	25,5	18,9	41,5	9,8	21,5	0,7	1,5	0,0	0,0	4,6
Шемышейский	2,3	2,9	25,9	32,6	44,6	56,1	6,6	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5
Башмаковский	0,0	0,0	0,7	0,8	22,4	25,2	60,1	67,5	5,5	6,2	0,2	0,2	6,6
Бековский	0,0	0,0	0,5	0,7	7,6	10,3	61,0	82,7	4,8	6,5	0,0	0,0	6,9
Белинский	0,2	0,2	5,8	4,9	31,7	27,0	74,6	63,6	5,0	4,3	0,0	0,0	6,4
Бессоновский	5,1	7,7	13,8	20,7	24,3	36,5	19,5	29,3	4,3	6,5	0,0	0,0	5,2
Каменский	0,2	0,1	6,0	4,3	48,7	35,0	74,5	53,5	9,8	7,0	0,0	0,0	6,3
Камешкирский	3,6	4,7	22,6	29,7	41,9	55,1	7,8	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5
Кольшлейский	0,0	0,0	4,8	3,3	44,9	30,7	90,1	61,5	6,5	4,4	0,0	0,0	6,4
Кузнецкий	6,2	9,1	18,8	27,5	30,3	44,4	11,7	17,1	1,3	1,9	0,0	0,0	4,6
Лопатинский	2,6	3,9	20,5	31,1	38,3	58,0	4,4	6,7	0,2	0,3	0,0	0,0	4,4
Лунинский	4,9	6,7	5,2	7,2	16,5	22,7	39,2	54,0	6,6	9,1	0,2	0,3	6,1
Мокшанский	0,0	0,0	4,0	2,8	32,7	22,8	93,4	65,1	13,2	9,2	0,0	0,0	6,7
М-Сердобинский	0,3	0,3	7,4	8,3	50,2	56,2	29,6	33,1	1,7	1,9	0,0	0,0	5,6
Наровчатский	5,3	9,4	9,1	16,1	16,4	29,0	25,3	44,8	0,5	0,9	0,0	0,0	5,3
Неверкинский	3,7	5,8	24,8	38,6	28,9	45,0	6,6	10,3	0,2	0,3	0,0	0,0	4,3
Н-Ломовский	2,3	2,5	11,0	12,0	43,0	47,0	34,3	37,5	0,8	0,9	0,0	0,0	5,5
Пензенский	1,4	0,8	17,1	9,3	84,4	45,9	77,2	42,0	3,8	2,1	0,0	0,0	5,8
Сердобский	0,3	0,2	9,3	7,5	50,8	41,0	48,6	39,2	13,9	11,2	1,0	0,8	6,2
Спасский	0,0	0,0	0,2	0,4	7,2	16,0	32,9	73,1	4,6	10,2	0,0	0,0	6,9
Тамалинский	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	9,4	84,3	81,4	9,0	8,7	0,4	0,4	7,0

Содержание подвижного фосфора

Земли сельскохозяйственного назначения района и области характеризуются переменным содержанием подвижного фосфора: степень обеспеченности варьируется от очень низкой (<20 ppm) до очень высокой (>200 ppm). По числовым показателям незначительно лидирует средняя степень обеспеченности растений фосфором (51 – 100 ppm) (табл. 3.2.-2) (Макаров и др., 2022).

Таблица 3.2.-2. Группировка почв сельскохозяйственных угодий Пензенской области в разрезе районов по содержанию подвижного фосфора (P_2O_5 , ppm), % (по состоянию на 1.01.2020 г.)

Административные районы	Группировка почв по содержанию P_2O_5 по Чирикову, ppm												Средневзвешенное содержание, ppm
	очень низкое		низкое		среднее		повышенное		высокое		очень высокое		
	< 20		20-50		51-100		101-150		151-200		> 200		
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	
Вадинский	8,7	14,3	23,1	37,9	19,5	32,0	5,8	9,5	2,5	4,1	1,1	1,8	61
Городищенский	6,4	9,8	27,0	41,4	24,0	36,8	4,0	6,1	2,0	3,1	1,8	2,8	61
Земетчинский	10,5	12,4	22,4	26,4	27,0	31,8	14,4	16,9	8,4	9,9	2,3	2,7	77
Иссинский	1,7	2,6	16,7	25,2	30,1	45,3	11,1	16,7	3,8	5,7	3,0	4,5	83
Никольский	19,0	30,7	23,7	38,3	11,3	18,3	2,5	4,0	1,9	3,1	3,4	5,5	49
Пачелмский	1,9	3,4	20,4	36,4	23,3	41,5	6,1	10,9	1,7	3,0	2,7	4,8	73
Сосновоборский	14,2	31,2	17,6	38,7	8,1	17,8	2,3	5,1	1,7	3,7	1,6	3,5	47
Шемышейский	11,6	14,6	41,0	51,6	19,9	25,0	4,2	5,3	2,1	2,6	0,7	0,9	50
Башмаковский	0,3	0,3	18,7	21,0	45,6	51,2	14,1	15,8	7,5	8,4	2,8	3,1	87
Бековский	0,0	0,0	3,9	5,3	47,5	64,4	19,7	26,7	3,3	4,5	1,2	1,6	93
Белинский	3,5	3,0	20,8	17,7	44,4	37,9	35,6	30,3	8,8	7,5	4,2	3,6	93
Бессоновский	3,2	4,8	6,5	9,8	23,2	34,8	14,2	21,3	8,8	13,2	10,8	16,2	112
Каменский	4,4	3,2	49,6	35,6	54,7	39,3	16,6	11,9	6,6	4,7	7,3	5,2	76
Камешкирский	14,0	18,4	36,8	48,4	20,9	27,5	3,0	3,9	0,5	0,7	0,8	1,1	46
Кольшлейский	2,3	1,6	24,0	16,4	78,5	53,6	31,5	21,5	7,4	5,1	2,9	2,0	86
Кузнецкий	4,1	6,0	16,9	24,7	23,8	34,8	11,9	17,4	5,0	7,3	6,6	9,7	89
Лопатинский	10,1	15,3	28,8	43,6	19,1	28,9	4,5	6,8	1,3	2,0	2,2	3,3	56
Лунинский	0,8	1,1	10,9	15,0	29,9	41,2	14,7	20,2	10,1	13,9	6,2	8,5	103
Мокшанский	18,5	12,9	68,2	47,5	39,4	27,5	12,2	8,5	4,5	3,1	0,7	0,5	55
М-Сердобинский	12,4	13,9	49,3	55,2	22,7	25,4	4,3	4,8	0,4	0,4	0,2	0,2	46
Наровчатский	2,7	4,8	18,3	32,4	20,6	36,5	7,7	13,6	3,2	5,7	4,0	7,1	80
Неверкинский	4,6	7,2	20,5	31,9	24,5	38,2	7,2	11,2	3,1	4,8	4,3	6,7	76
Н-Ломовский	2,6	2,8	31,7	34,6	40,2	43,9	10,3	11,3	3,6	3,9	3,1	3,4	73
Пензенский	12,5	6,8	64,8	35,2	73,4	39,9	18,2	9,9	7,7	4,2	7,3	4,0	70
Сердобский	0,8	0,6	17,5	14,1	68,5	55,3	28,0	22,6	6,6	5,3	2,6	2,1	89
Спасский	3,1	6,9	16,6	36,9	18,7	41,6	3,9	8,7	1,4	3,1	1,2	2,7	66
Тамалинский	0,2	0,2	5,4	5,2	60,0	57,9	25,5	24,6	6,4	6,2	6,1	5,9	99

Содержание обменного калия

В целом, для почв района и области отмечается повышенный и высокий уровень обеспеченности растений подвижным калием (81 – 180 ppm) (табл. 3.2.-3).

Таблица 3.2.-3. Группировка почв сельскохозяйственных угодий Пензенской области в разрезе районов по содержанию обменного калия (K₂O, ppm), % (по состоянию на 1.01.2020 г.)

Административные районы	Группировка почв по содержанию K ₂ O по Чирикову, ppm												Средневзвешенное содержание, ppm
	очень низкое		низкое		среднее		повышенное		высокое		очень высокое		
	< 20		21-40		41-80		81-120		121-180		> 180		
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	
Вадинский	0,00	0,00	0,20	0,33	7,90	12,97	23,20	38,10	17,20	28,24	12,30	20,20	125,00
Городищенский	0,00	0,00	0,40	0,61	14,60	22,39	28,50	43,71	16,90	25,92	4,80	7,36	110,00
Земетчинский	0,00	0,00	5,40	6,35	18,00	21,18	30,80	36,24	25,70	30,24	5,10	6,00	108,00
Иссинский	0,00	0,00	0,00	0,00	4,90	7,38	18,10	27,26	31,60	47,59	11,80	17,77	136,00
Никольский	0,00	0,00	3,60	5,83	24,50	39,64	19,00	30,74	8,90	14,40	5,70	9,22	95,00
Пачелмский	0,00	0,00	0,00	0,00	9,50	16,93	18,40	32,80	17,20	30,66	11,00	19,61	125,00
Сосновоборский	0,20	0,09	4,10	9,01	19,40	42,64	10,70	23,52	5,80	12,75	5,30	11,65	92,00
Шемышейский	0,00	0,00	0,50	0,63	9,60	12,08	24,40	30,69	38,10	47,92	6,90	8,68	126,00
Башмаковский	0,00	0,00	0,00	0,00	8,80	9,89	31,00	34,83	40,10	45,06	9,10	10,22	127,00
Бековский	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	3,39	20,10	27,24	47,20	63,96	4,10	5,56	136,00
Белинский	0,00	0,00	0,20	0,17	14,70	12,53	41,00	34,95	52,90	45,10	8,30	7,08	123,00
Бессоновский	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	4,50	14,80	22,22	25,40	38,14	23,80	35,74	147,00
Каменский	0,00	0,00	0,00	0,00	23,60	16,95	61,80	44,40	38,10	27,37	15,70	11,28	116,00
Камешкирский	0,00	0,00	1,70	2,24	18,50	24,34	29,70	39,08	21,50	28,29	4,60	6,05	108,00
Кольшлейский	0,00	0,00	0,00	0,00	8,20	5,60	40,60	27,73	84,50	57,72	13,00	8,88	134,00
Кузнецкий	0,00	0,00	1,20	1,76	15,30	22,40	23,30	34,11	17,20	25,18	11,30	16,54	116,00
Лопатинский	0,00	0,00	1,10	1,67	18,30	27,73	21,20	32,12	15,40	23,33	10,00	15,15	112,00
Лунинский	0,00	0,00	0,00	0,00	3,70	5,10	21,90	30,17	29,70	40,91	17,30	23,83	138,00
Мокшанский	0,00	0,00	0,20	0,14	23,00	16,03	55,40	38,61	60,20	41,95	4,60	3,21	117,00
М-Сердобинский	0,00	0,00	0,00	0,00	8,30	9,29	49,70	55,66	29,40	32,92	1,80	2,02	115,00
Наровчатский	0,00	0,00	0,50	0,88	14,70	26,02	22,70	40,18	12,50	22,12	6,20	10,97	109,00
Неверкинский	0,00	0,00	1,20	1,87	12,50	19,47	18,50	28,82	18,70	29,13	13,30	20,72	123,00
Н-Ломовский	0,00	0,00	1,00	1,09	17,10	18,69	32,00	34,97	37,40	40,87	4,00	4,37	116,00
Пензенский	0,00	0,00	0,40	0,22	35,60	19,36	67,50	36,70	66,80	36,32	13,60	7,40	117,00
Сердобский	0,00	0,00	0,00	0,00	4,20	3,39	26,30	21,23	72,50	58,51	20,90	16,87	142,00
Спасский	0,00	0,00	0,40	0,89	8,90	19,78	16,90	37,56	13,10	29,11	5,40	12,00	115,00
Тамалинский	0,00	0,00	0,00	0,00	12,40	11,97	38,70	37,36	32,20	31,08	20,30	19,59	127,00

Кислотность почв

Уровень кислотности почв, в целом, характеризуется слабо и среднекислым показателем (4,5– 5,5 рН) (табл. 3.2.-4).

Таблица 3.2.-4. Группировка почв сельскохозяйственных угодий Пензенской области в разрезе районов по степени кислотности, (по состоянию на 1.01.2020)

Административные районы	Реакция почвенного раствора (рН)										Средневзвешенное значение
	сильно кислые		среднекислые		слабокислые		близкие к нейтральн.		нейтральные		
	< 4,5		4,5 - 5,0		5,1 - 5,5		5,5 -6,0		6,0 - 7,0		
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	
Вадинский	3,9	6,4	43,4	71,3	11,1	18,2	1,3	2,1	1,0	1,6	4,7
Городищенский	9,5	14,6	38,7	59,4	13,1	20,1	2,4	3,7	1,5	2,3	4,4
Земетчинский	10,5	12,4	35,4	41,6	31,6	37,2	5,0	5,9	2,8	3,3	4,6
Иссинский	2,6	3,9	22,9	34,5	29,2	44,0	8,1	12,2	3,7	5,6	5,1
Никольский	14,2	23,0	33,2	53,7	9,3	15,0	2,3	3,7	2,8	4,5	4,1
Пачелмский	4,0	7,1	30,6	54,5	15,8	28,2	3,7	6,6	2,0	3,6	4,8
Сосновоборский	9,7	21,3	26,9	59,1	6,5	14,3	1,6	3,5	0,8	1,8	4,1
Шемьшейский	1,5	1,9	37,7	47,4	29,7	37,4	5,5	6,9	5,1	6,4	5,1
Бековский	0,0	0,0	20,3	27,5	43,3	58,7	8,5	11,5	1,6	2,2	5,2
Башмаковский	0,9	1,0	25,2	28,3	51,2	57,5	9,6	10,8	2,2	2,5	5,2
Белинский	5,9	5,0	45,8	39,0	51,6	44,0	9,2	7,8	4,9	4,2	5,0
Бессоновский	4,5	6,8	23,1	34,7	24,8	37,2	7,3	11,0	7,4	11,1	5,0
Каменский	4,7	3,4	70,8	50,9	46,9	33,7	10,5	7,5	6,3	4,5	5,0
Камешкирский	5,7	7,5	44,0	57,9	24,3	32,0	1,4	1,8	0,6	0,8	4,7
Кольшлейский	1,0	0,7	43,6	29,8	78,3	53,5	17,1	11,7	6,2	4,2	5,2
Кузнецкий	6,1	8,9	29,5	43,2	20,8	30,5	7,7	11,3	4,2	6,1	4,8
Лопатинский	2,1	3,2	29,2	44,2	28,5	43,2	4,1	6,2	2,1	3,2	5,0
Лунинский	1,0	1,4	17,6	24,2	37,0	51,0	9,0	12,4	8,0	11,0	5,3
Мокшанский	4,0	2,8	87,7	61,1	43,6	30,4	7,1	4,9	0,8	0,6	4,9
М-Сердобинский	6,0	6,7	51,0	57,1	27,8	31,1	2,7	3,0	1,8	2,0	4,8
Наровчатский	3,5	6,2	20,6	36,5	25,0	44,2	3,4	6,0	4,1	7,3	4,9
Неверкинский	1,3	2,0	17,3	26,9	34,9	54,4	7,7	12,0	3,0	4,7	5,2
Н-Ломовский	3,6	3,9	52,3	57,2	27,5	30,1	5,6	6,1	2,4	2,6	4,9
Пензенский	10,2	5,5	109,2	59,4	46,1	25,1	11,8	6,4	6,6	3,6	4,8
Сердобский	0,5	0,4	33,2	26,8	54,5	44,0	22,1	17,8	13,6	11,0	5,3
Спасский	1,7	3,8	21,0	46,7	18,2	40,4	2,6	5,8	1,5	3,3	5,0
Тамалинский	0,0	0,0	3,7	3,6	63,8	61,6	26,3	25,4	9,7	9,4	5,5

Изучаемые почвы агрохозяйств ООО «Трудовой путь» и «Евлашевское», Кузнецкого района и Пензенской области в целом характеризуются значительным варьированием агрохимически ценных почвенных свойств: различные степени содержания гумуса, наблюдается увеличение кислотности почв, степени обеспеченности обменным калием изменяется в пределах от очень низкой (<40 ppm) до очень высокой (>250 ppm) с преобладанием повышенного и очень высокого уровня обеспеченности, содержание доступного фосфора – от очень низкой (<25 ppm) до очень высокой (>200 ppm) с преобладанием среднего уровня обеспеченности (Макаров и др., 2022). Изменяется и плотность сложения подпахотного горизонта почв на конкретном поле агрохозяйства – от 1,33 г/см³ до 1,46 г/см³ наблюдается переуплотнение. Подобная значительная изменчивость показателей основных почвенных свойств может являться как следствием неравномерной агротехнической обработки, так и естественной неоднородности почвенного покрова, связанной с ярко выраженными мезо- и микрорельефом.

В соответствии с «Методическими рекомендациями по выявлению деградированных почв» (1995), для определения степени деградации почв необходимо сравнить полученные результаты обследования территории с некоторым «эталонным» состоянием, соответствующему «нулевой» степени потери природно-хозяйственной значимости земель. В качестве «эталона» выступила модель высокого плодородия чернозёма выщелоченного (табл. 3.2.-5).

Таблица 3.2.-5. Показатели эталонной почвы, модель высокого плодородия чернозёма выщелоченного (Савич и др., 2003)

рН	K ₂ O, ppm	P ₂ O ₅ , ppm	Гумус, %
6,2	150	150	6

При оценке степени деградации почв и земель проводилась балльная оценка почвенных контуров по каждому из агрохимических показателей (Бондаренко, 2016). Ранжирование оценочных показателей осуществлялось по единой пятибалльной шкале в соответствии с «Методикой определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994), дифференцировано относительно выбранного эталона (Бондаренко, 2016). Степени деградации почв и земель по каждому диагностическому показателю характеризуются пятью уровнями: 0 –

недеградированные (ненарушенные); 1 – слабodeградированные; 2 – среднедеградированные; 3 – сильнодеградированные; 4 – очень сильнодеградированные (разрушенные) (табл. 3.2.-6).

Таблица 3.2.-6. Диапазоны изменения свойств, соответствующие различным степеням деградации

Показатели	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Уменьшение содержания гумуса в профиле почвы, % от исходного*	<10	11-20	21-40	41-80	>80
Уменьшение содержания подвижного фосфора, % от исходного*	<10	11-20	21-40	41-80	>80
Уменьшение содержания обменного калия, % от исходного*	<10	11-20	21-40	41-80	>80
Уменьшение степени кислотности (рН сол.), % от исходного*	<10	11-15	16-20	21-25	>25

*за исходное принимается состояние недеградированного аналога – эталона (нулевой уровень деградации)

3.3. Деградация почв и земель агрохозяйств «Трудовой путь» и «Евлашевское» по основным агрохимическим показателям

На основании расчетов, представленных в таблицах 3.3.-1 и 3.3.-2 можно сделать следующее заключение по степени деградированности почв агрохозяйств по основным агрохимическим свойствам:

– показатели уменьшения содержания гумуса на территории агрохозяйства «Трудовой путь» соответствуют 2 (средней) и 3 (высокой) степени деградации, на территории агрохозяйства «Евлашевское» - аналогично, но присутствует значительная доля недеградированных почв (Макаров и др., 2023);

– изменение кислотности почвы наиболее выражено на территории агрохозяйства «Трудовой путь», где большая доля почв находится в 4 (очень высокой) степени деградации, в агрохозяйстве «Евлашевское» основная часть почв соответствует 2 (средней) и 3 (высокой) степени деградации (Макаров и др., 2023);

– показатели содержания обменного калия по содержанию обменного калия на территории агрохозяйства «Трудовой путь» соответствуют 2 (средней) и 3 (высокой) степени деградации, однако наблюдается достаточно большая доля ненарушенных земель, основная часть территории агрохозяйства «Евлашевское»

характеризуются 0-й степенью деградации (ненарушенная), однако локально встречаются участки с более выраженной деградацией, вплоть до 3-й (высокой) степени (Макаров и др., 2023);

– наибольшие значения степени деградации в обоих агрохозяйствах обнаружены для показателя уменьшения содержания подвижного фосфора: в основном распространена 3-я (высокая) степень (Макаров и др., 2023).

Таблица 3.3.-1. Распределение площади агрохозяйства «Трудовой путь» по степеням деградации (Макаров и др., 2023)

Степень деградации	Площадь, га			
	гумус	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH
0	151	529	703	331
1	173	62	531	308
2	965	386	886	679
3	1341	1571	783	673
4	397	479	124	1036

Таблица 3.3.-2. Распределение площади агрохозяйства «Евлашевское» по степеням деградации (Макаров и др., 2023)

Степень деградации	Площадь, га			
	гумус	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH
0	2859	1649	5010	588
1	530	352	1797	416
2	3688	2370	2834	5673
3	3393	5097	1424	3906
4	803	1805	208	690

3.4. Деградация почв и земель Кузнецкого муниципального района и Пензенской области

Анализ деградированности почв по основным агрохимически ценным почвенным показателям (содержание гумуса, подвижного фосфора и обменного калия, кислотность) для Кузнецкого района и области в целом производился, как отмечалось ранее, на основании обзора литературных источников, результаты представлены в таблицах 3.4.-1 и 3.4.-2.

Таблица 3.4.-1. Распределение площади Кузнецкого муниципального района

по степеням деградации (Макаров и др., 2023)

Степень деградации	Площадь, га			
	гумус	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH
0	13000	11600	11300	11900
1	30000	11900	17200	20800
2	18800	0	23300	0
3	0	40700	15300	29500
4	62000	4100	1200	6100

Таблица 3.4.-2. Распределение площади Пензенской области по степеням деградации (Макаров и др., 2023)

Степень деградации	Площадь, га			
	гумус	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH
0	106610	144827	270200	106904
1	833100	333500	876200	894400
2	299800	0	806200	0
3	0	1619900	361700	1013900
4	85800	174100	22300	118600

Кузнецкий муниципальный район и Пензенская область в целом характеризуются схожей степенью выраженностью деградационных процессов на землях сельскохозяйственного назначения по ключевым агрохимическим почвенным свойствам:

- наибольший уровень деградации для территорий и района и области определен для показателей содержания подвижного фосфора и изменения кислотности, соответствует 3 (высокой) степени деградации (Макаров и др., 2023);

- почвы района и области испытывают нехватку обменного калия – в больших долях представлена 2 (средняя) степень деградации, в меньшей – степени 1 (низкая) и 3 (высокая) (Макаров и др., 2023);

- уровень деградации по содержанию гумуса для Кузнецкого района показывает 4 (очень высокую) степень, однако значительно варьирует. Для Пензенской области степень деградации по уменьшению содержания гумуса составляет в основном 1 (низкую) степень (Макаров и др., 2023).

Деградация почв и земель на трех уровнях исследования (агрохозяйства «Трудовой путь» и «Евлашевское», Кузнецкий муниципальный район и

Пензенская область в целом) была выявлена в той или иной степени по следующим параметрам: увеличение кислотности, уменьшение содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного калия, по сравнению с недеградированными аналогами (эталоны).

Наибольшие значения степени деградации обнаружены для показателей уменьшения содержания подвижного фосфора и изменения кислотности (2-3 степени), наименьшие значения деградации представлены для территории всей области в целом по уменьшению содержания гумуса, где она соответствует в основном 1 (низкой) степени.

ГЛАВА 4. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ

4.1. Оценка ущерба от деградации почв и земель

4.1.1. Оценка ущерба от деградации почв и земель «Трудовой путь» и «Евлашевское»¹

Был проведен расчет ущерба от деградации почв по 4 ключевым показателям: изменение рН (КСI), изменение содержания гумуса, обменного калия и подвижного фосфора.

По данным областной агрохимической службы содержание гумуса на территории агрохозяйства «Трудовой путь» варьирует от 0,5% до 6,9% (табл. 2 Приложение). Большая часть территории относится к низко- и среднеобеспеченной гумусом (более 3%). Почвы агрохозяйства характеризуются значительным варьированием содержания доступного фосфора (табл. 2 Приложение).

В целом, для почв обоих агрохозяйств отмечается средний уровень обеспеченности растений обменным калием (25 – 380 ppm). Однако встречаются участки с очень низкой и очень высокой обеспеченностью (табл. 2 Приложение).

По показателю рН в 1н. КСI на территории агрохозяйств локально наблюдается увеличение уровня кислотности до средне- и сильно кислых (4,1 – 5,0 рН) (табл. 2 Приложение).

Показатель плотности сложения поверхностных горизонтов почв на территории агрохозяйств изменяется в пределах от 1,33 до 1,46 г/см³, среднее

¹ Подробные результаты этой главы представлены в публикациях автора:

- Макаров О. А., Марахова Н. А., Красильникова В. С., Крючков Н. Р., Чекин М. Р., Абдулханова Д. Р. Опыт оценки ущерба от деградации почв и земель муниципальных образований Российской Федерации // Земледелие. – 2022. – № 4. – С. 3-7. DOI: - 10.24412/0044-3913-2022-4-3-7
- Макаров О. А., Абдулханова, Д. Р., Карпова, Д. В., Красильникова, В. С., Марахова, Н. А., Крючков, Н. Р., Чекин М. Р. Оценка ущерба от деградации почв и земель на трех иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства Российской Федерации: субъектов, муниципальных образований и агрохозяйств // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. — 2023. — Т. 78, № 2. — С. 86–93. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-2-86-93 [Makarov O.A., Abdulkhanova D.R., Karpova D.V., Krasilnikova V.S., Marakhova N.A., Kryuchkov N.R., Chekin M.R., Belyaeva M.V., Baldjiev A.S. Assessment of damage from soil and land degradation at three hierarchical levels of the administrative and economic structure of the Russian Federation: Subjects, municipalities, and agricultural farms // Moscow University Soil Science Bulletin. — 2023. — Vol. 78, № 2. — P. 149–155. DOI: 10.3103/S0147687423020072]

значение составляет 1,4 г/см³ (табл. 3 Приложение), что соответствует среднему уплотнению, способствующего развитию анаэробных условий и угнетению роста сельскохозяйственных культур.

Таким образом, изучаемые почвы агрохозяйств ООО «Трудовой путь» и «Евлашевское», Кузнецкого района и Пензенской области в целом характеризуются значительным варьированием агрохимически ценных почвенных свойств: различные степени содержания гумуса, наблюдается увеличение кислотности почв, изменение степени обеспеченности обменным калием и подвижным фосфором. Изменяется и плотность сложения подпахотного горизонта почв на конкретном поле агрохозяйства – от 1,33 г/см³ до 1,46 г/см³ наблюдается переуплотнение. Подобная значительная изменчивость показателей основных почвенных свойств может являться как следствием неравномерной агротехнической обработки, так и естественной неоднородности почвенного покрова, связанной с ярко выраженными мезо- и микрорельефом.

Оценка величины ущерба от деградации почв и земель агрохозяйств Пензенской области проводилась в соответствии с «Методикой определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994) по формуле (2). При определении степени деградации почв и земель по выбранным показателям эталоном (недеградированным аналогом) выступила модель высокого плодородия почв чернозёма выщелоченного (табл. 4.1.-1).

Таблица 4.1.-1 Показатели эталонной почвы, модель высокого плодородия чернозёма выщелоченного (Савич и др., 2003)

pH_{KCl}	K₂O, мг/кг	P₂O₅, мг/кг	Гумус, %
6,2	150	150	6

Можно сделать следующее заключение по степени деградированности почв агрохозяйств по основным агрохимическим свойствам (табл. 4, 5 Приложение):

– показатели уменьшения содержания гумуса на территории агрохозяйства «Трудовой путь» соответствуют 2-й (средней) и 3-й (высокой) степени деградации, на территории агрохозяйства «Евлашевское» - аналогично, но присутствует значительная доля недеградированных почв (Рис. 4.1.-1, 4.1.-2) (Макаров и др.,

2023);

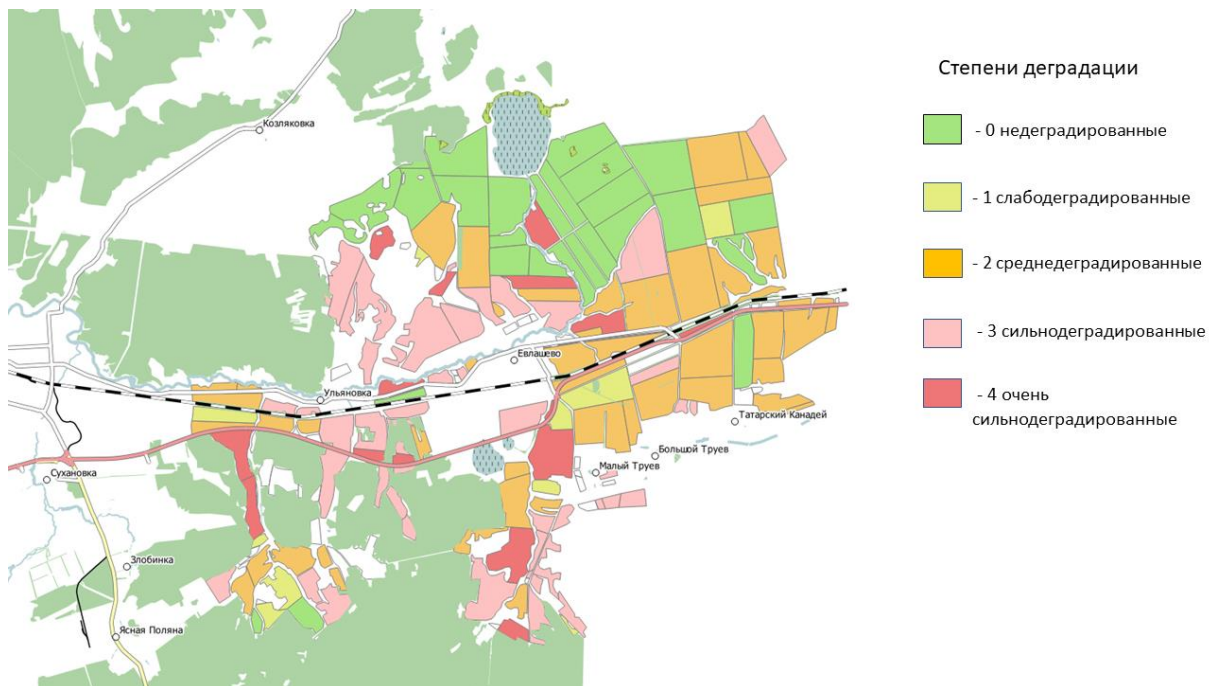


Рисунок 4.1 - 1. Деградация по уменьшению содержания гумуса (агрохозияство «Евлашевское»)

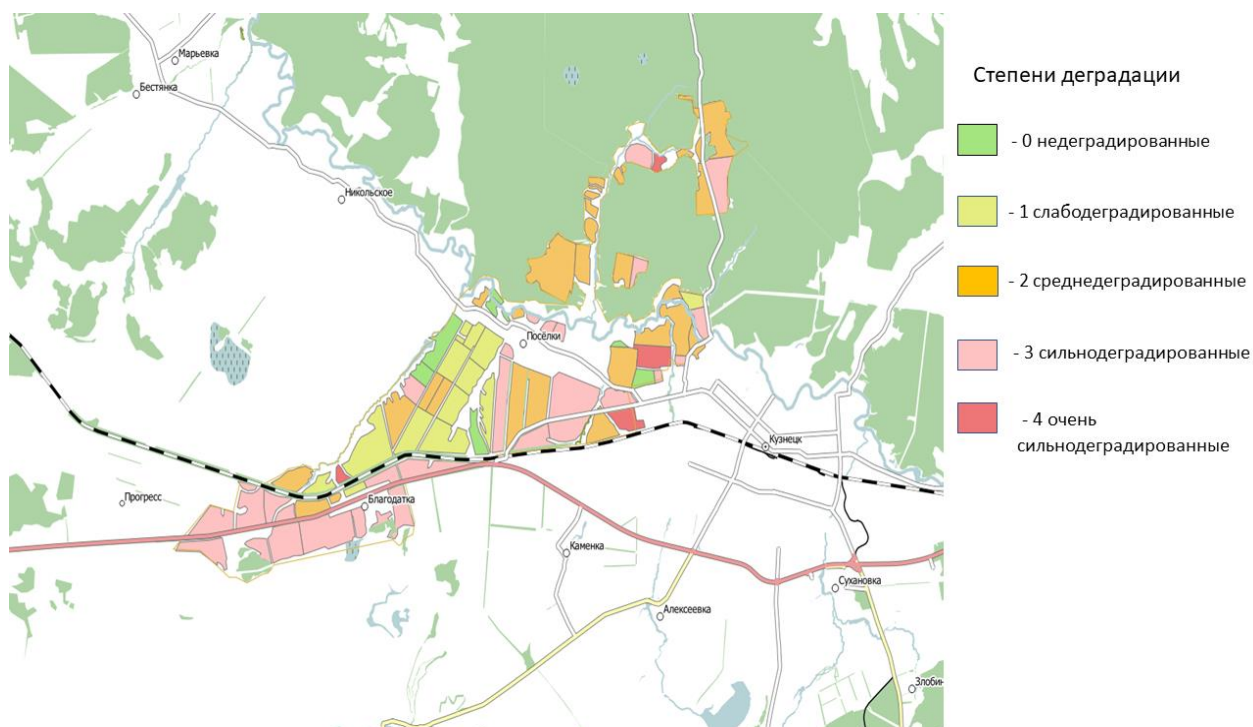


Рисунок 4.1 -2. Деградация по уменьшению содержания гумуса (агрохозияство «Трудовой путь»)

– изменение кислотности почвы наиболее выражено на территории агрохозияства «Трудовой путь», где большая доля почв находится в 4-й (очень высокой) степени деградации, в агрохозиястве «Евлашевское» основная часть почв

соответствует 2-й (средней) и 3-й (высокой) степени деградации (Макаров и др., 2023) (Рис. 4.1.-3, 4.1.-4);

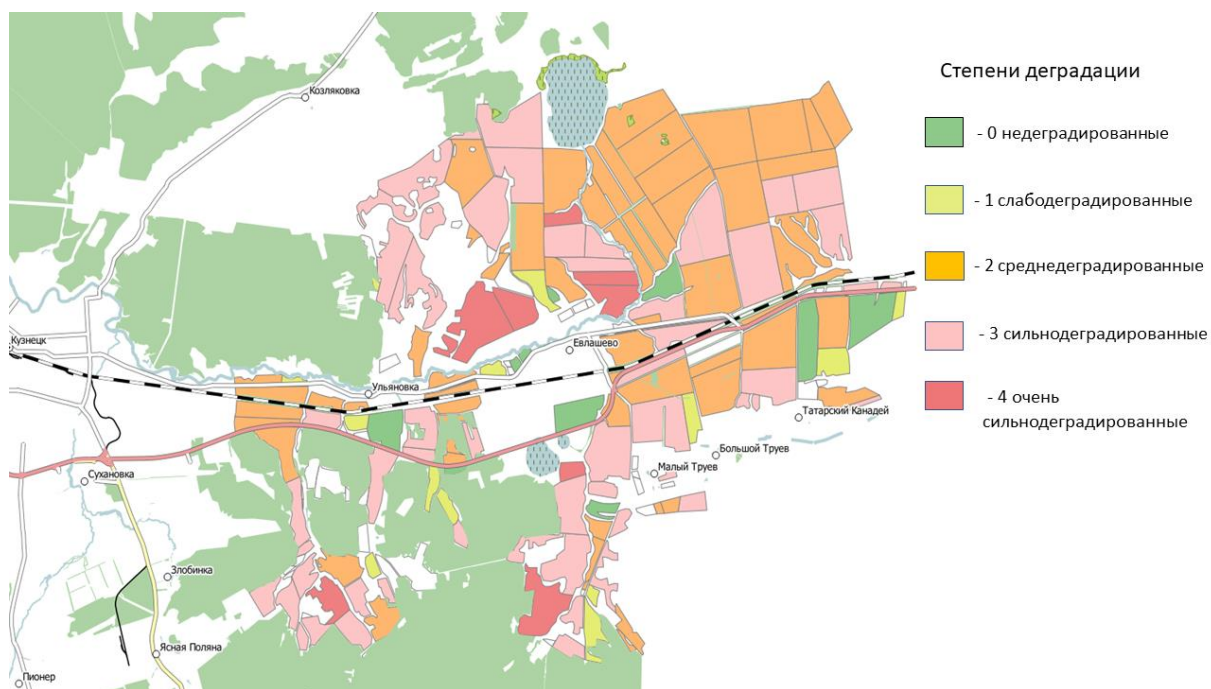


Рисунок 4.1 - 3. Деградация по уменьшению показателя кислотности (агрохозяйство «Евлашевское»)

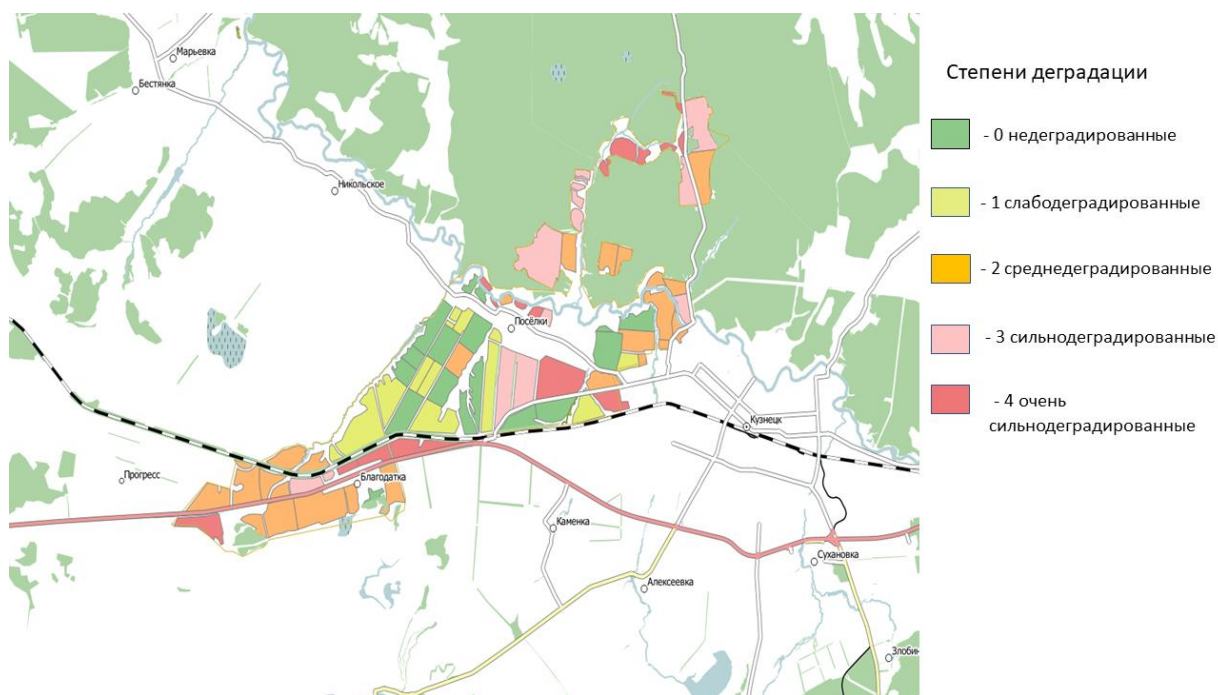


Рисунок 4.1 -4. Деградация по уменьшению показателя кислотности (агрохозяйство «Трудовой путь»)

– показатели содержания обменного калия на территории агрохозяйства «Трудовой путь» соответствуют 2-й (средней) и 3-й (высокой) степени деградации, однако наблюдается достаточно большая доля ненарушенных земель, основная часть территории агрохозяйства «Евлашевское» характеризуется 0-й степенью деградации (ненарушенная), однако локально встречаются участки с более выраженной деградацией, вплоть до 3-й (высокой) степени (Рис. 4.1.-5, 4.1.-6) (Макаров и др., 2023);

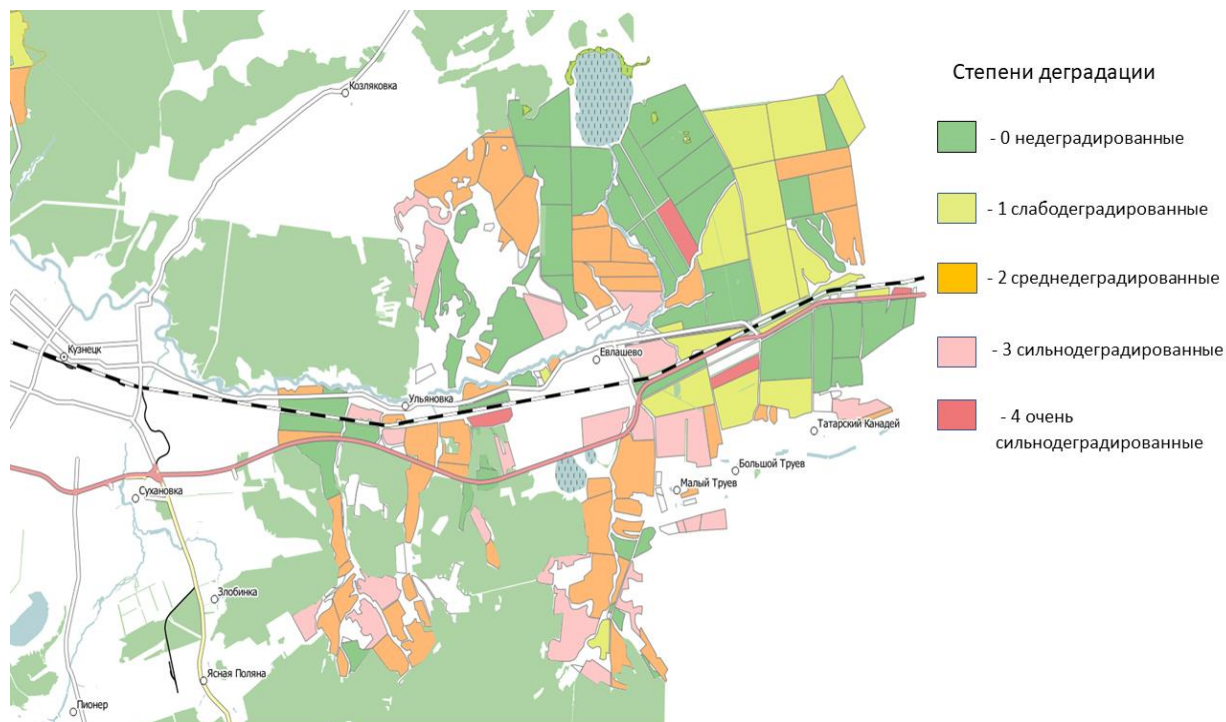


Рисунок 4.1 - 5. Деградация по уменьшению содержания обменного калия (агрохозяйство «Евлашевское»)

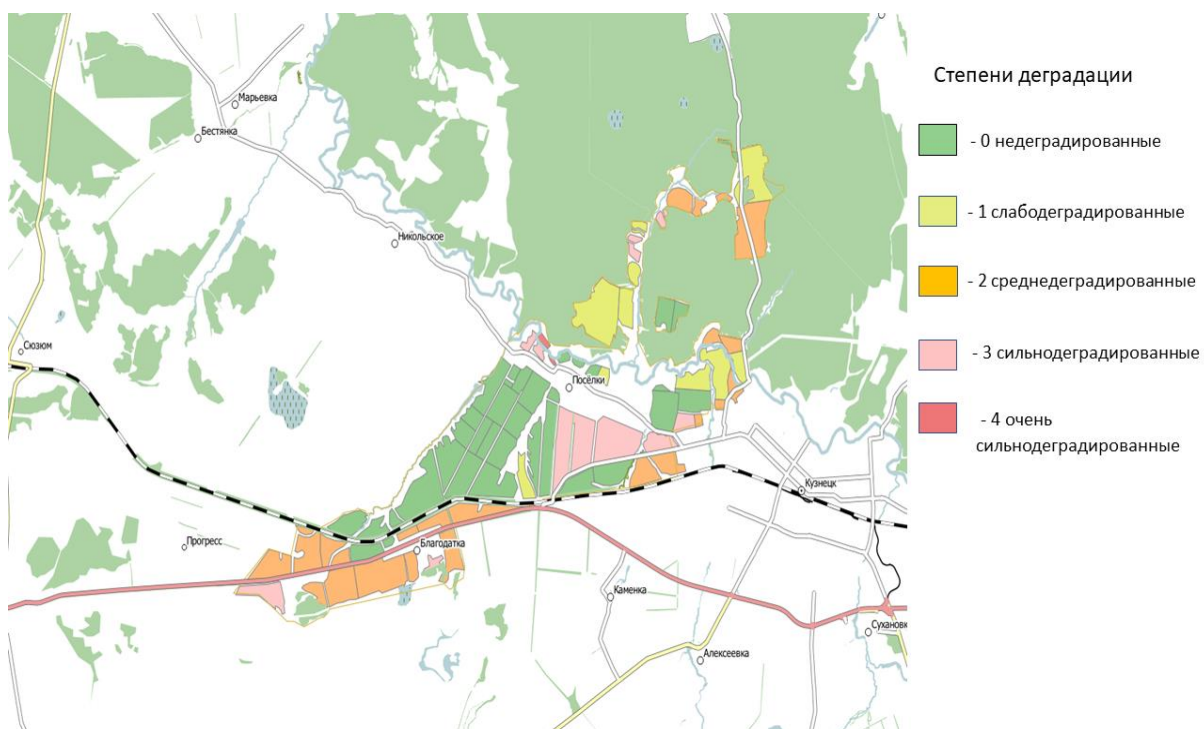


Рисунок 4.1 -6. Деградация по уменьшению содержания обменного калия (агрохозяйство «Трудовой путь»

– наибольшие значения степени деградации в обоих агрохозяйствах обнаружены для показателя уменьшения содержания подвижного фосфора: в основном распространена 3-я (высокая) степень (Рис. 4.1.-7, 4.1.-8) (Макаров и др., 2023).

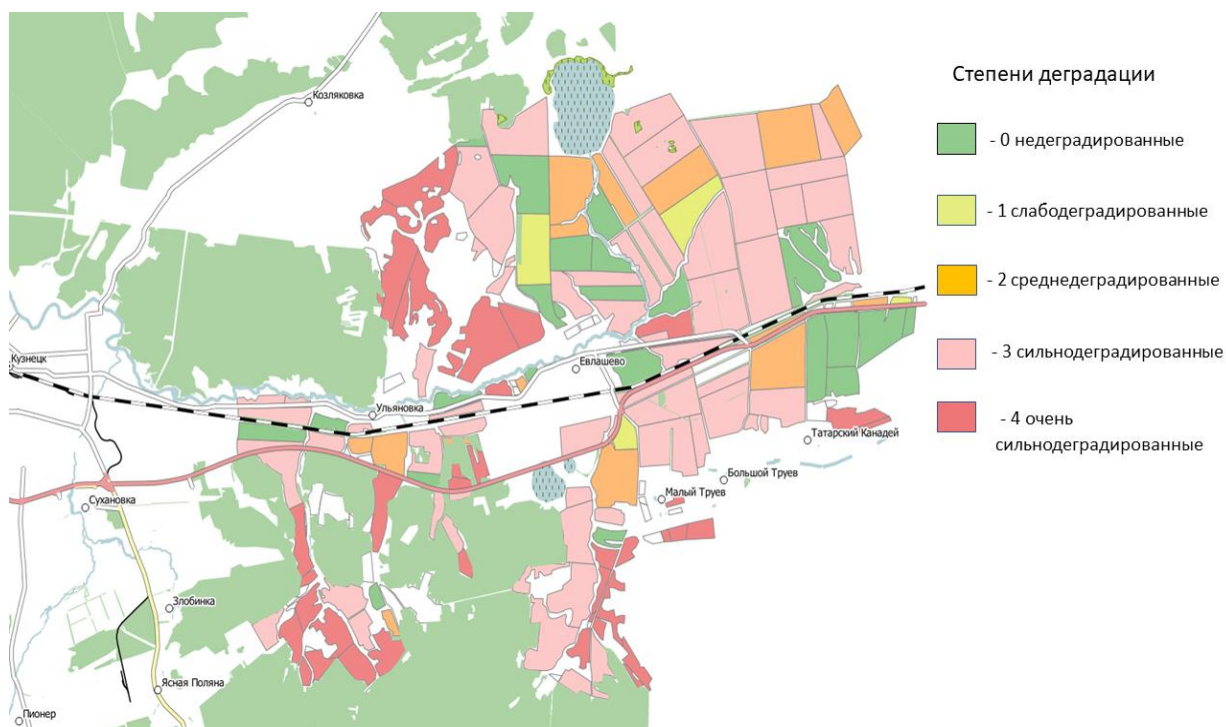


Рисунок 4.1 - 7. Деградация по уменьшению содержания подвижного

фосфора (агрохозяйство «Евлашевское»)

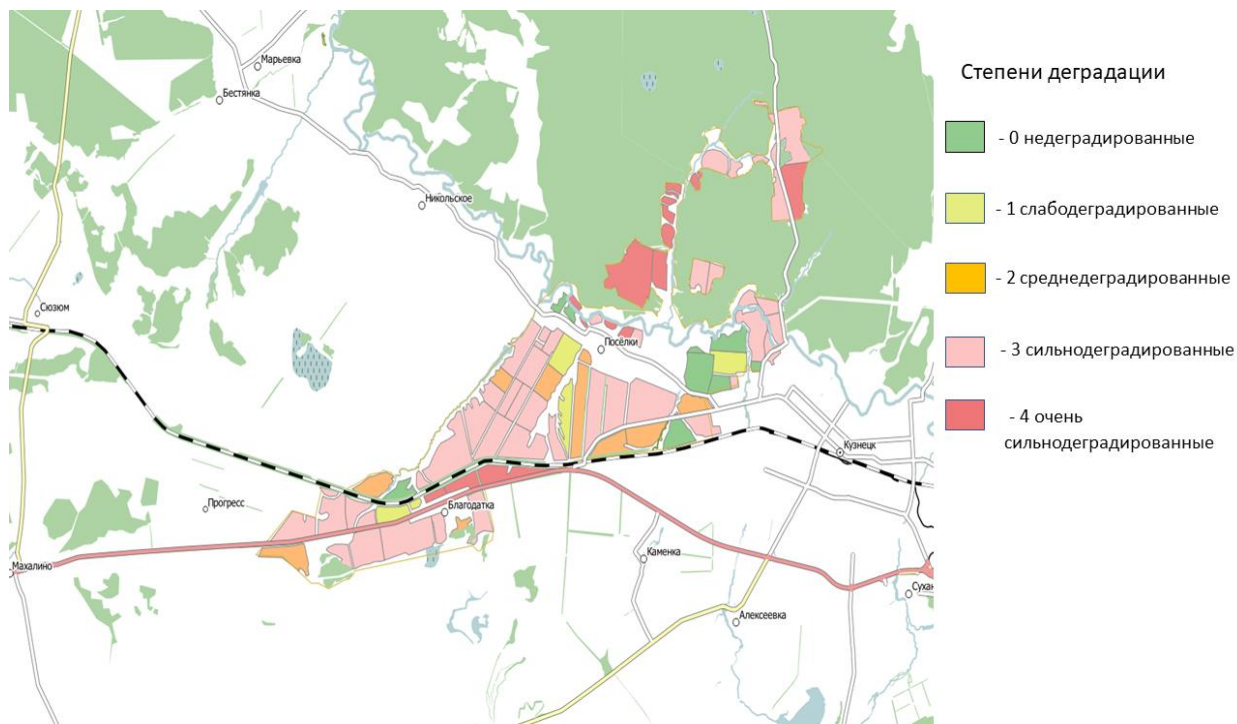


Рисунок 4.1 -8. Деградация по уменьшению содержания подвижного фосфора (агрохозяйство «Трудовой путь»)

Почвы обоих агрохозяйств Кузнецкого района Пензенской области подвержены различным процессам деградации, среди которых наибольший ущерб отмечается для показателей уменьшения содержания подвижного фосфора, содержания гумуса и изменения кислотности (табл. 4.1.-2, 4.1.-3) (Рис. 4.1.-9., 4.1.-10). Величина ущерба от уменьшения содержания обменного калия несколько меньше. Обращает на себя внимание тот факт, что для территорий обоих агрохозяйств установлены ареалы, имеющие все степени деградации (от 0-й до 4-й) по каждому из показателей, и не всегда ареалы с 4-й (очень высокой) деградации почв и земель имеют минимальные площади по сравнению с ареалами, почвы и земли которых деградированы в более слабой степени (Макаров и др., 2022, 2023).

Таблица 4.1.-2. Оценка ущерба от деградации земель агрохозяйства «Трудовой Путь» Кузнецкого района Пензенской области (Макаров и др., 2023)

Степень деградации	Площадь земель, соответствующая определенному виду деградации земель, га			
	Уменьшение содержания гумуса	Уменьшение содержание подвижного фосфора (P ₂ O ₅)	Уменьшение содержания обменного калия (K ₂ O)	Изменение pH
0	151	529	703	331
1	173	62	531	308
2	965	386	886	679
3	1341	1571	783	673
4	397	479	124	1036
Ущерб, руб.	378 865323,00	352 525404,00	272 839932,00	367 450605,00
Суммарный ущерб, руб.	1 371 681 264,00			
Суммарный удельный ущерб, руб./га	131 638,06			

Таблица 4.1.-3. Оценка ущерба от деградации земель агрохозяйства «Евлашевское» Кузнецкого района Пензенской области (Макаров и др., 2023)

Степень деградации	Площадь земель, соответствующая определенному виду деградации земель, га			
	Уменьшение содержания гумуса	Уменьшение содержание подвижного фосфора (P ₂ O ₅)	Уменьшение содержания обменного калия (K ₂ O)	Изменение pH
0	2859	1649	5010	588
1	530	352	1797	416
2	3688	2370	2834	5673
3	3393	5097	1424	3906
4	803	1805	208	690
Ущерб, руб.	599 991 430,80	782553 544,80	343 606 179,60	739 224 177,00
Суммарный ущерб, руб.	2 465 378 838,20			
Суммарный удельный ущерб, руб./га	69 166,91			



Рисунок 4.1.-9. Доля показателей в общем ущербе для территории агрохозяйства «Трудовой путь»

**Доля показателей в общем
ущербе, %**

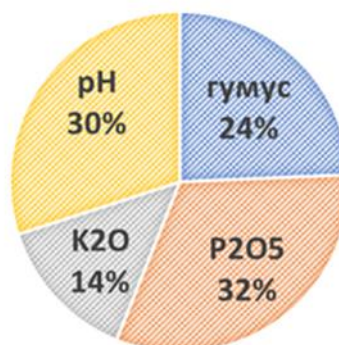


Рисунок 4.1.-10. Доля показателей в общем ущербе для территории агрохозяйства «Евлашевское»

4.1.2. Оценка ущерба от деградации территории Кузнецкого района и Пензенской области².

Согласно фондовым материалам (данные областной агрохимической службы ФГБУ ГЦАС «Пензенский», основная доля почв Кузнецкого муниципального района и Пензенской области в целом относится к среднеобеспеченным гумусом (содержание 4,1-6%).

Земли сельскохозяйственного назначения района и области характеризуются вариабельным содержанием подвижного фосфора. В целом, для почв района и области отмечается повышенный и высокий уровень обеспеченности растений подвижным калием (81 – 180 ppm). Уровень кислотности почв муниципального района и области в целом характеризуется слабо- и среднекислым показателем (4,5–5,5 рН).

Анализ деградированности почв и земель по основным агрохимически ценным почвенным показателям (содержание гумуса, подвижного фосфора и обменного калия, кислотность) для Кузнецкого муниципального района и области в целом производился, как отмечалось ранее, на основании обзора фондовых материалов; результаты анализа представлены в табл. 4.1.-4 и 4.1.-5 (Макаров и др., 2023).

² Подробные результаты этой главы представлены в публикациях автора:

- Макаров О. А., Марахова Н. А., Красильникова В. С., Крючков Н. Р., Чекин М. Р., Абдулханова Д. Р. Опыт оценки ущерба от деградации почв и земель муниципальных образований Российской Федерации // Земледелие. – 2022. – № 4. – С. 3-7. DOI: - 10.24412/0044-3913-2022-4-3-7
- Макаров О. А., Абдулханова, Д. Р., Карпова, Д. В., Красильникова, В. С., Марахова, Н. А., Крючков, Н. Р., Чекин М. Р. Оценка ущерба от деградации почв и земель на трех иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства Российской Федерации: субъектов, муниципальных образований и агрохозяйств // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. — 2023. — Т. 78, № 2. — С. 86–93. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-2-86-93 [Makarov O.A., Abdulkhanova D.R., Karpova D.V., Krasilnikova V.S., Marakhova N.A., Kryuchkov N.R., Chekin M.R., Belyaeva M.V., Baldjiev A.S. Assessment of damage from soil and land degradation at three hierarchical levels of the administrative and economic structure of the russian federation: Subjects, municipalities, and agricultural farms // Moscow University Soil Science Bulletin. — 2023. — Vol. 78, № 2. — P. 149–155. DOI: 10.3103/S0147687423020072]

Таблица 4.1.-4. Распределение площади Кузнецкого муниципального района по степеням деградации почв и земель

Степень деградации	Площадь, га			
	Уменьшение содержания гумуса	Уменьшение содержания подвижного P ₂ O ₅	Уменьшение содержания обменного K ₂ O	Изменение pH
0	13000	11600	11300	11900
1	30000	11900	17200	20800
2	18800	0	23300	0
3	0	40700	15300	29500
4	62000	4100	1200	6100

Таблица 4.1.-5. Распределение площади Пензенской области по степеням деградации почв и земель

Степень деградации	Площадь, га			
	Уменьшение содержания гумуса	Уменьшение содержания подвижного P ₂ O ₅	Уменьшение содержания обменного K ₂ O	Изменение pH
0	106610	144827	270200	106904
1	833100	333500	876200	894400
2	299800	0	806200	0
3	0	1619900	361700	1013900

Кузнецкий муниципальный район и Пензенская область в целом характеризуются схожей степенью выраженностью деградационных процессов на землях сельскохозяйственного назначения по ключевым агрохимическим почвенным свойствам:

– наибольший уровень деградации для территорий и района и области определен для показателей содержания подвижного фосфора и изменения кислотности, соответствует 3-й (высокой) степени деградации (Макаров и др., 2023);

– почвы района и области испытывают нехватку обменного калия – в больших долях представлена 2 (средняя) степень деградации, в меньшей – степени 1 (низкая) и 3 (высокая) (Макаров и др., 2023);

– уровень деградации по содержанию гумуса для Кузнецкого района показывает 4-ю (очень высокую) степень, однако значительно варьирует. Для Пензенской области степень деградации по уменьшению содержания гумуса

составляет в основном 1-ю (низкую) степень (Макаров и др., 2023).

Деградация почв и земель на трех уровнях исследования (агрохозяйства «Трудовой путь» и «Евлашевское», Кузнецкий муниципальный район и Пензенская область в целом) была выявлена в той или иной степени по следующим параметрам: увеличение кислотности, уменьшение содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного калия, по сравнению с недеградированными аналогами (эталонами).

Наибольшие значения степени деградации обнаружены для показателей уменьшения содержания подвижного фосфора и изменения кислотности (2-3 степени), наименьшие значения деградации представлены для территории всей области в целом по уменьшению содержания гумуса, где она соответствует в основном 1 (низкой) степени.

**Доля показателей в общем
ущербе, %**

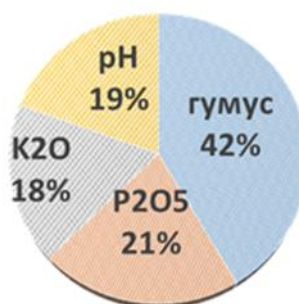


Рисунок 4.1.-11. Доля показателей в общем ущербе для территории Кузнецкого района Пензенской области

Результаты расчета величины ущерба от деградации почв и земель Кузнецкого муниципального района Пензенской области, проведенного в соответствии «Методикой определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994) по формуле (2), приведены в табл. 4.1.-6. (Рис. 4.1.-11). Суммарный ущерб составил 35345690100,0 руб. Ущерб на единицу площади (удельный ущерб) - 124236,4 руб./га, что, в целом соответствует величине удельного ущерба для агрохозяйства «Трудовой путь» (131638,06 руб./га) и существенно выше удельного ущерба для агрохозяйства «Евлашевское» (69166, 91 руб./га) (Макаров и др., 2022, 2023).

Таблица 4.1.-6. Ущерб от деградации почв и земель сельскохозяйственного назначения Кузнецкого муниципального района (Макаров и др., 2023)

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (2)						Величина ущерба от деградации	
	Нс, руб./га	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Ты с. руб.
Уменьшение содержания обменного калия								
4	57300	1200	1,0	62 800	1,9	0,9	198468000	198468,0
3	57300	15300	0,8	62 800	1,9	0,9	2197324800	2197324,8
2	57300	23300	0,5	62 800	1,9	0,9	2585251500	2585251,5
1	57300	17200	0,2	62 800	1,9	0,9	1346656800	1346656,8
Уменьшение содержания подвижного фосфора								
4	57300	4100	1,0	62800	1,9	0,9	678099000	678099,0
3	57300	40700	0,8	62800	1,9	0,9	5845171200	5845171,2
1	57300	11900	0,2	62800	1,9	0,9	931698600	931698,6
Изменение кислотности (рН KCl)								
4	57300	6 100	1	62 800	1,9	0,9	1008879000	1008879,0
3	57300	29 500	0,8	62 800	1,9	0,9	4236672000	4236672,0
1	57300	20 800	0,2	62 800	1,9	0,9	1628515200	1628515,2
Уменьшение содержания гумуса								
4	57300	6 200	1,0	62 800	1,9	0,9	1025418000	1025418,0
2	57300	18 800	0,5	62 800	1,9	0,9	2085954000	2085954,0
1	57300	30 300	0,2	62 800	1,9	0,9	2372308200	2372308,2
Общая величина ущерба, руб.							35345690100	
Ущерб на единицу площади (удельный ущерб), руб./га							124236,4	

Суммарный ущерб от деградации почв и земель Пензенской области в целом составил 849 171 406 800,00 руб., удельный ущерб - 111 773,68 руб./га (табл. 4.1.-7). Основной вклад в общую величину ущерба от деградации внесли показатели уменьшения содержания подвижного фосфора и изменения кислотности почв (рис. 4.1.-12).

Таблица 4.1.-7. Оценка ущерба от деградации земель Пензенской области по оцениваемым показателям (Макаров и др., 2023)

Степень деградации	Площадь, га			
	гумус	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH
0	106609,6	144827,0	270200,0	106903,6
1	833100,0	333500,0	876200,0	894400,0
2	299800,0	0,0	806200,0	0,0
3	0,0	1619900,0	361700,0	1013900,0
4	85800,0	174100,0	22300,0	118600,0
Ущерб, руб.	112 681 502 400,00	287549006400,00	213687228000,00	235253670 000,00
Суммарный ущерб, руб.	849 171 406 800,00			
Удельный ущерб, руб./га	111 773,68			

Доля показателей в общем ущербе, %

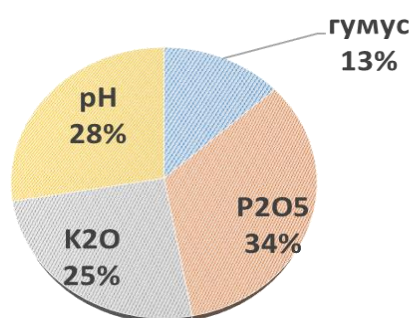


Рисунок 4.1.-12. Доля показателей в общем ущербе для территории Пензенской области

Результаты оценки ущерба для остальных районов Пензенской области изложены в Приложении (табл. 6-32.).

4.2. Оценка нейтрального баланса деградации земель

4.2.1. Оценка нейтрального баланса деградации земель агрохозяйств «Евлашевское» и «Трудовой путь»³

При проведении работ были использованы стандартная и модифицированная методики.

Использование модуля «Trends.Earth» с базовыми настройками применительно к двум агрохозяйствам Пензенской области позволило рассчитать нейтральный баланс деградации земель для исследуемых территорий в период 2000–2010 гг. (Таблица 4.2.-1., Таблица 4.2.-2.). Рассматривались только пахотные угодья, за индекс НБДЗ принималась разница между улучшенными и деградированными землями. По этой методике его величина составляет 71,7% от общей площади пашни агрохозяйства «Евлашевское» и 81,8% - агрохозяйства «Трудовой путь».

Таблица 4.2.-1. Расчет нейтрального баланса деградации пахотных земель агрохозяйства «Евлашевское» Кузнецкого района Пензенской области по базовой и модифицированной методикам за период 2000-2010 гг. (Макаров и др., 2021)

Территория	Площадь пахотных земель			
	га		% от общей площади пахотных земель агрохозяйства*	
	Стандартная методика	Модифицированная методика	Стандартная методика	Модифицированная методика
Отсутствие данных	0,0	828,9	0,0	7,7
Деградация	509,6	7333,2	4,7	67,8
Стабильное состояние	2038,5	0,0	18,9	0,0
Улучшение	8261,9	2647,9	76,4	24,5
Индекс НБДЗ	7752,3	-4685,3	71,7	-43,3

³ Подробные результаты этой главы представлены в публикациях автора:

- Макаров О.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Чекин М.Р. Совмещенная оценка нейтрального баланса деградации земель и их эколого-экономического ущерба (на примере агрохозяйств Пензенской области) // Проблемы агрохимии и экологии. — 2021. — № 3-4. — С. 79–86. DOI: 10.26178/AE.2021.72.49.003.
- Экономика деградации земель и продовольственная безопасность регионов России / Под редакцией О.А. Макарова / Макаров О.А., Абдулханова Д.Р., Балджиев А.С., Беляева М.В., Карпова Д.В., Красильникова В.С., Крючков Н.Р., Марахова Н.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Цветнова О.Б., Чекин М.Р., Черкасова О.В. — Москва: ООО МАКС Пресс, 2022. — 320 с. DOI: 10.29003/m3113.978-5-317-06906-3.

*Примечание: общая площадь выделенной категории земель «пашня» – 10809,9 га (100%)

Таблица 4.2.-2. Расчет нейтрального баланса деградации пахотных земель агрохозяйства «Трудовой путь» Кузнецкого района Пензенской области по базовой и модифицированной методикам за период 2000-2010 гг. (Макаров и др., 2021)

Территория	Площадь пахотных земель			
	га		% от общей площади пахотных земель агрохозяйства*	
	Стандартная методика	Модифицированная методика	Стандартная методика	Модифицированная методика
Отсутствие данных	22,9	1961,2	0,5	40,4
Деградация	117,1	2879,5	2,4	59,4
Стабильное состояние	626,1	0,0	12,9	0,0
Улучшение	4083,1	8,6	84,2	0,2
Индекс НБДЗ	3966,0	-2870,8	81,8	-59,2

*Примечание: общая площадь выделенной категории земель «пашня» – 4849,3 га (100%)

Ведущую роль здесь сыграл показатель продуктивности, базирующийся на показателе NDVI: так, улучшение состояния по данному показателю для агрохозяйства «Евлашевское» составило 76,6% от общей площади земель, а для агрохозяйства «Трудовой путь» - 84,5%. Показатель почвенного углерода оказался малозначимым, что, вероятно, связано с недостаточным качеством глобальных данных, встроенных в платформу «Trends.Earth» (расчет динамики почвенного углерода здесь ведется не по фактическому содержанию гумуса в почвах агрохозяйств, а на основании усредненных данных для отдельных типов почв наземного покрова) (Макаров и др., 2021) (Рис. 4.2.-1, 4.2.-2).

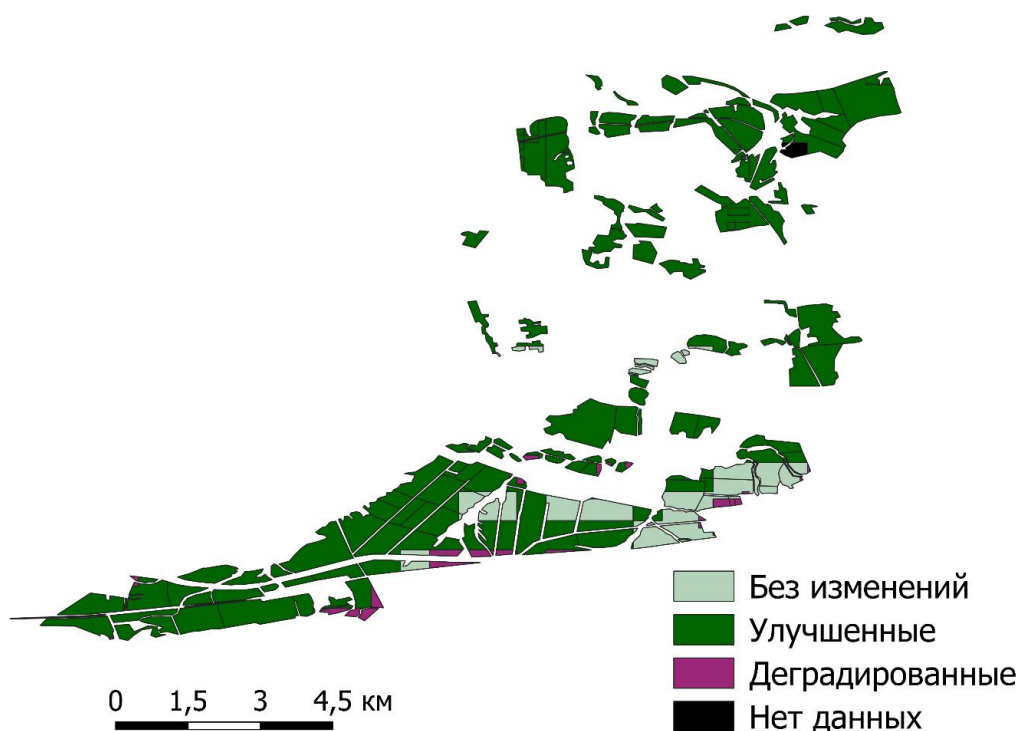


Рисунок 4.2.-1. Итоговая карта расчета показателя НБДЗ для пахотных угодий агрохозяйства «Трудовой путь» по стандартным настройкам «Trends.Earth».

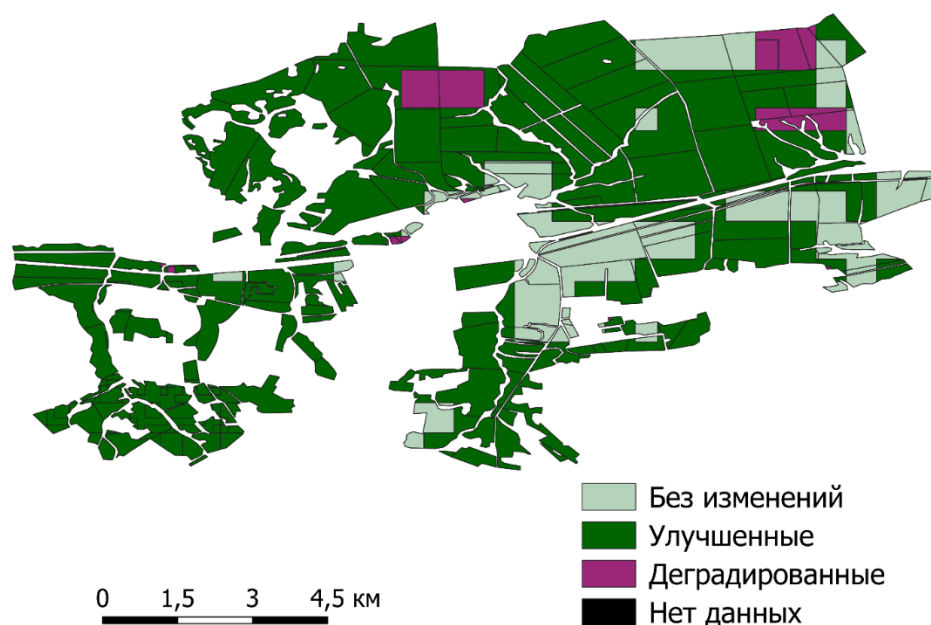


Рисунок 4.2.-2. Итоговая карта расчета показателя НБДЗ для пахотных угодий агрохозяйства «Евлашевское» по стандартным настройкам «Trends.Earth».

Расчеты, проведенные по модифицированной методике, показали резкое увеличение площади пахотных земель с деградацией – до 67,8% от общей площади пашни агрохозяйства «Евлашевское» и 59,4% от общей площади пашни агрохозяйства «Трудовой путь». Величина индекса НБДЗ становится отрицательной и составляет «-43,3%» для агрохозяйства «Евлашевское» и «-59,2%» для агрохозяйства «Трудовой путь». Основной вклад в резкое увеличение доли деградированных земель вносят агрохимические показатели: за оцениваемый период времени произошло заметное падение содержания в почвах обоих агрохозяйств подвижного фосфора, обменного калия, гумуса и подкисление почв (Рис. 4.2.-3, 4.2.-4).

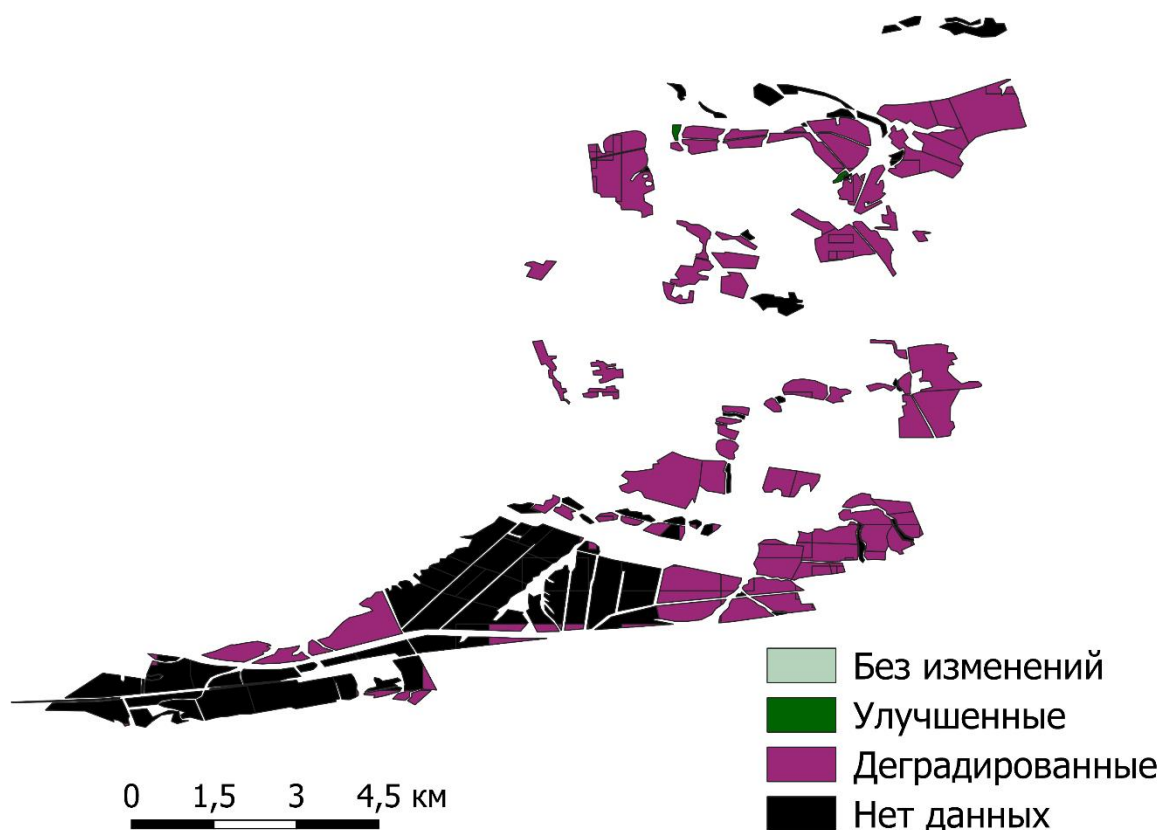


Рисунок 4.2.-3. Итоговая карта расчета показателя НБДЗ для пахотных угодий агрохозяйства «Трудовой путь» по модифицированной методике

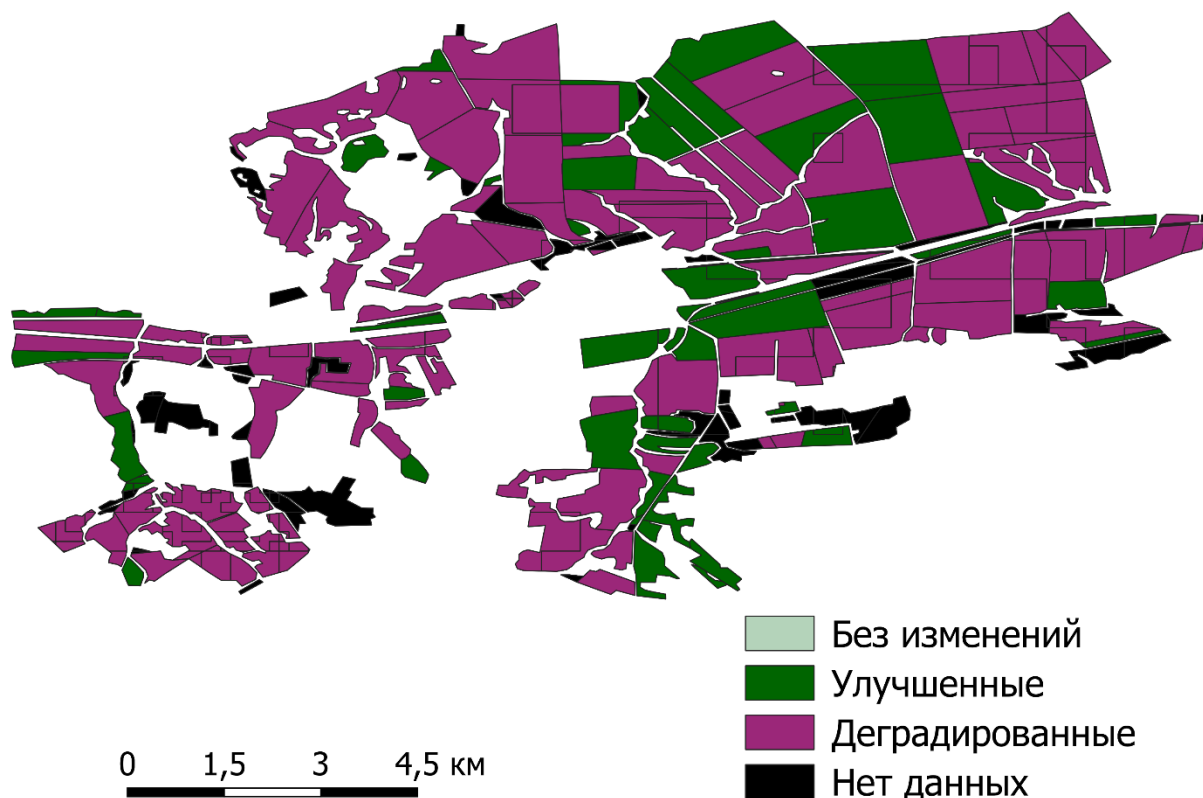


Рисунок 4.2.-4. Итоговая карта расчета показателя НБДЗ для пахотных угодий агрохозяйства «Евлашевское» по модифицированной методике

Следует отметить, что любое ухудшение анализируемых агрохимических показателей при использовании модифицированной методики диагностировалось как деградация земель, даже если их итоговые величины не выходили за пределы оптимума.

Результаты сопоставления различных эколого-экономических подходов к оценке деградации почв и земель представлены в табл. 4.2.-3. Полученные различия в оценках в определенной мере свидетельствуют о разных принципах определения деградации: в методологии НБДЗ (модифицированный вариант методики) деградация измеряется путем сопоставления показателей почв и земель в начале и в конце оцениваемого периода, а при расчете ущерба степень деградации определяется при помощи сопоставления показателей изучаемых почв с эталонными значениями. Тем не менее, обращают на себя внимание резкие различия в оценке деградации почв и земель по показателю изменения кислотности для агрохозяйства «Евлашевское» и показателю уменьшения содержания гумуса для агрохозяйства «Трудовой Путь» для

использованных методов (Экономика деградации земель и продовольственная безопасность регионов России, 2022).

Таблица 4.2.-3. Вклад различных показателей агроистощения почв в величину деградации при расчете НБДЗ (модифицированная методика) и в суммарную величину ущерба от деградации земель агрохозяйств «Евлашевское» и «Трудовой Путь» Кузнецкого района Пензенской области

Показатель агроистощения почв	Агрохозяйство «Евлашевское»		Агрохозяйство «Трудовой Путь»	
	Деградация по методике НБДЗ, % от общей площади пахотных земель агрохозяйства	Вклад в суммарную величину ущерба, %	Деградация по методике НБДЗ, % от общей площади пахотных земель агрохозяйства	Вклад в суммарную величину ущерба, %
Уменьшение содержания гумуса	27,6	24,34	5,5	27,62
Уменьшение содержание подвижного фосфора (P ₂ O ₅)	31,6	31,74	57,5	25,70
Уменьшение содержания обменного калия (K ₂ O)	36,3	13,93	19,0	19,89
Изменение pH	25,1	29,99	25,7	26,79

В тоже время, совершенно очевидно, что совместное использование двух методологий изучения деградации земель (модифицированный вариант НБДЗ и оценка ущерба) дают более полное представление о масштабах (сопоставление с эталонными почвами) и скорости (изучение показателей деградации в динамике) проявления деградационных процессов, которое можно использовать для разработки систем устойчивого землепользования в конкретных агрохозяйствах.

4.2.3. Оценка нейтрального баланса деградации земель Кузнецкого района Пензенской области

Результаты определения показателя нейтрального баланса деградации земель в период 2000-2010 гг. в соответствии со стандартной и модифицированной методиками отражены в табл. 4.2.-4, 4.2.-5 и рисунках 4.2.-5, 4.2.-6.

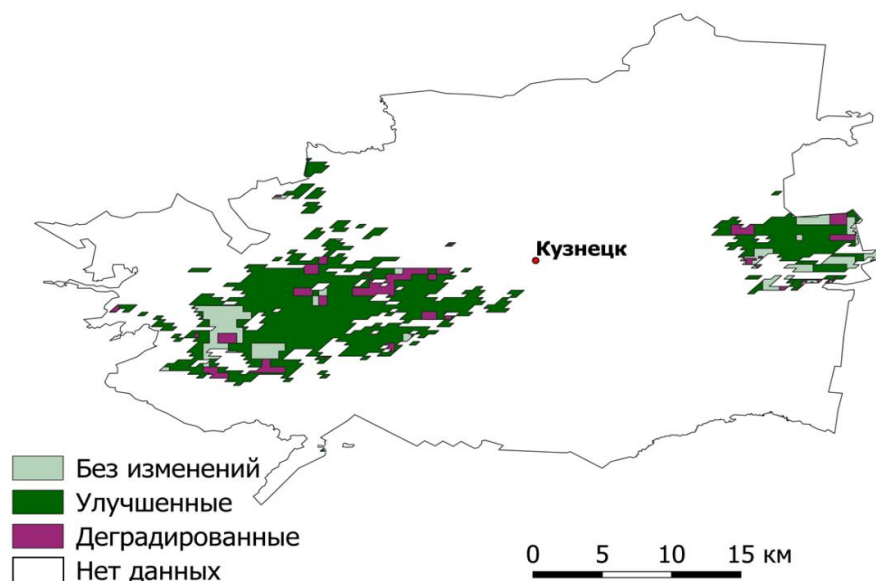


Рисунок 4.2 - 5. НБДЗ по стандартной методике на территории Кузнецкого района

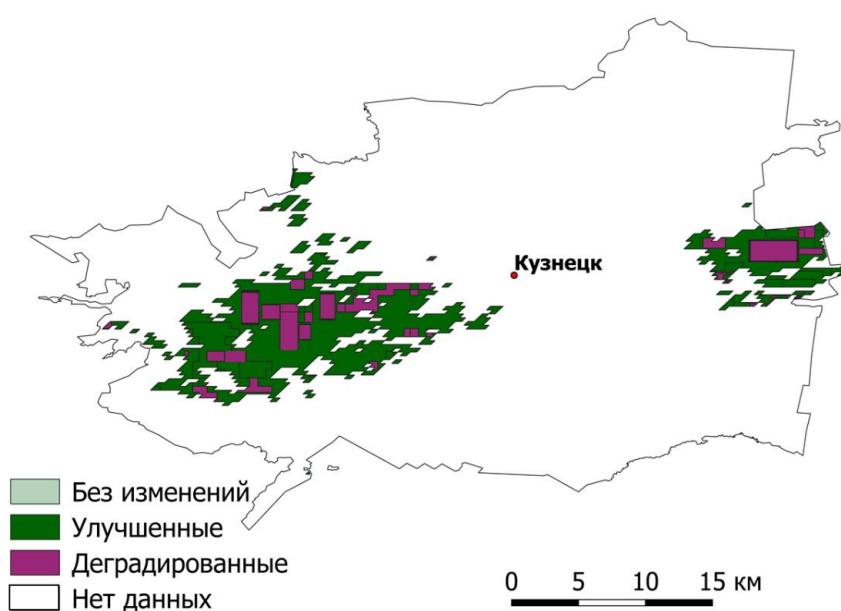


Рисунок 4.2 - 6. НБДЗ по модифицированной методике на территории

Кузнецкого района

Таблица. 4.2 -4. Расчет нейтрального баланса деградации пахотных земель Кузнецкого района Пензенской области по стандартной методике за период 2000-2010 гг.

Территория	Площадь пахотных земель	
	км ²	% от общей площади пахотных земель региона*
Стабильные	34,50	12,94
С деградацией	26,44	9,92
С улучшением	205,63	77,14
Индекс НБДЗ	179,19	67,22

Таблица. 4.2-5. Расчет нейтрального баланса деградации пахотных земель Кузнецкого района Пензенской области по модифицированной методике за период 2000-2010 гг.

Территория	Площадь пахотных земель	
	км ²	% от общей площади пахотных земель региона*
Стабильные	1,33	0,5
С деградацией	96,46	36,2
С улучшением	168,78	63,31
Индекс НБДЗ	72,32	27,11

С применением модифицированной методики наблюдается увеличение площади деградированных земель.

4.2.3. Оценка нейтрального баланса деградации земель Пензенской области⁴

Использование модуля «Trends.Earth» с базовыми настройками

⁴ Подробные результаты этой главы представлены в публикациях автора:

- Макаров, О. А. Цветнов Е. В., Цветнова О. Б., Марахова Н. А., Чекин М. Р., Кубарев Е. Н., Абдулханова Д. Р. Опыт оценки нейтрального баланса деградации земель Приволжского федерального округа (на примере Пензенской области) // Агрехимический вестник. — 2021. — № 5. — С. 8–11. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-5-002
- Экономика деградации земель и продовольственная безопасность регионов России / Под редакцией О.А. Макарова / Макаров О.А., Абдулханова Д.Р., Балджиев А.С., Беляева М.В., Карпова Д.В., Красильникова В.С., Крючков Н.Р., Марахова Н.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Цветнова О.Б., Чекин М.Р., Черкасова О.В. — Москва: ООО МАКС Пресс, 2022. — 320 с. DOI: 10.29003/m3113.978-5-317-06906-3.

применительно к Пензенской области позволило рассчитать нейтральный баланс деградации земель для региона в период 2000–2010 гг. (табл. 4.2.-6). Рассматривались только пахотные угодья (прочие категории земель и виды угодий были исключены, на рисунках 4.2.-7 и 4.2.-8 им соответствуют незакрашенные участки). За индекс НБДЗ принималась разница между улучшенными и деградированными землями. По этой методике его величина составляет 60,48% от общей площади пашни Пензенской области (табл. 4.2.-6).

Таблица 4.2.-6. Расчет нейтрального баланса деградации пахотных земель Пензенской области по стандартной методике за период 2000-2010 гг.

Территория	Площадь пахотных земель	
	км ²	% от общей площади пахотных земель региона*
С отсутствием данных	36,86	0,18
С деградацией	2142,95	10,22
В стабильном состоянии	3965,98	18,91
С улучшением	14829,98	70,70
Индекс НБДЗ	12687,03	60,48

*Примечание: общая площадь выделенной категории земель «пашня» – 20975,77 км² (100%)

70,70% от площади всех пахотных земель региона улучшили свое состояние за изучаемый период. Ведущую роль здесь сыграл показатель продуктивности, базирующийся на показателе NDVI. Показатель почвенного углерода оказывается малозначимым, что связано с недостаточным качеством глобальных данных, встроенных в платформу «Trends.Earth», в соответствии с которыми расчет динамики почвенного углерода ведется не по фактическому содержанию гумуса в почвах, а на основании усредненных данных для отдельных типов почв наземного покрова (Макаров и др., 2021).

Основные площади деградированных земель расположены в юго-западной части области (Тамалинский, Белинский, Башмаковский муниципальные районы), где доминируют по площади различные подтипы чернозёмных почв (рис. 4.2.-7).

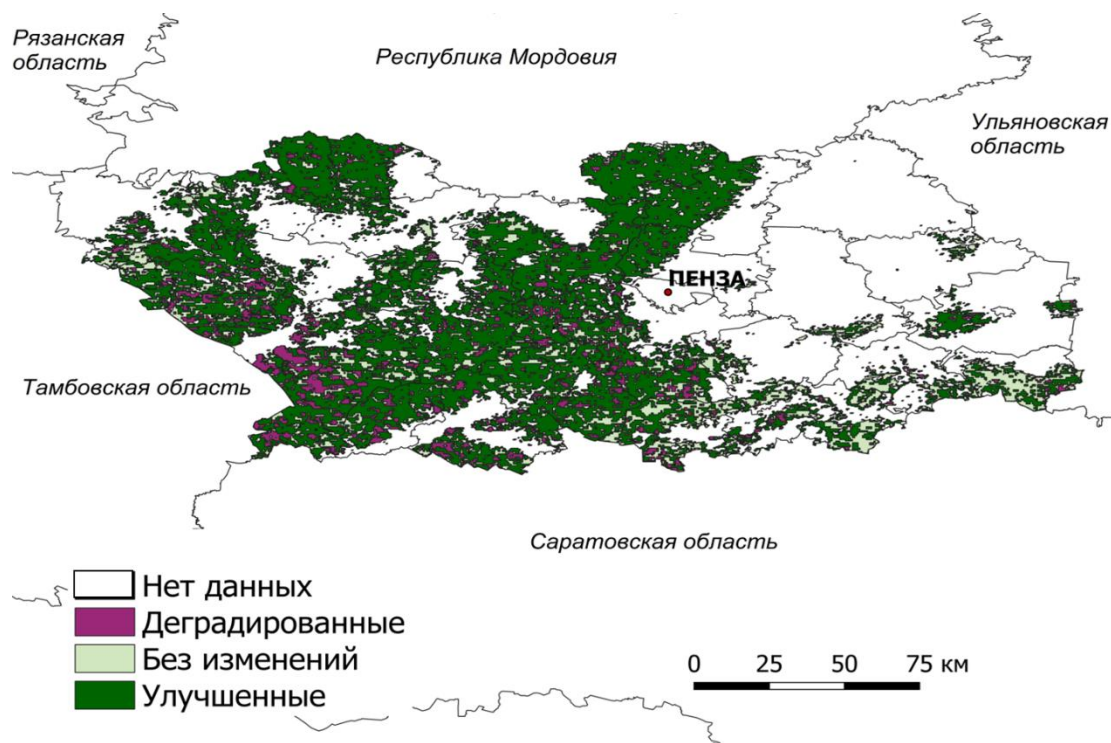


Рисунок 4.2.-7. Итоговая карта расчета показателя НБДЗ для пахотных угодий Пензенской области по базовым настройкам «Trends.Earth».

Расчеты, проведенные по измененной (адаптированной) методике, показали резкое увеличение площади пахотных земель с деградацией – до 67,54% от общей площади пашни региона (табл. 4.2.-7). При этом основные массивы деградировавших в период 2000-2010 г. пахотных земель находятся в центральной, юго-западной, юго-восточной и северо-западной частях области (рис. 4.2.-8).

Таблица 4.2.-7. Расчет нейтрального баланса деградации пахотных земель Пензенской области по модифицированной методике за период 2000-2010 гг.

Территория	Площадь пахотных земель	
	км ²	% от общей площади пахотных земель региона*
С отсутствием данных	8,16	0,04
С деградацией	14161,91	67,54
С улучшением	6796,90	32,42
Индекс НБДЗ	- 7365,01	- 35,13

*Примечание: общая площадь выделенной категории земель «пашня» – 20966,97 км² (100%)

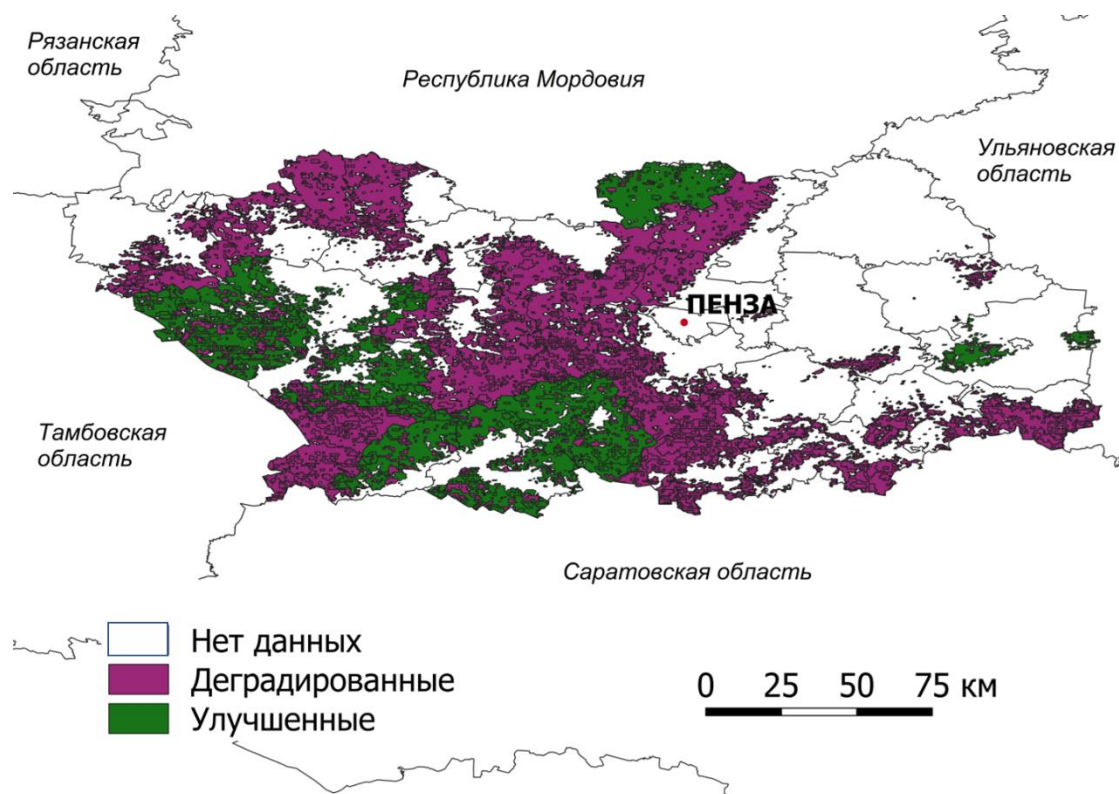


Рисунок 4.2.-8. Итоговая карта оценки НБДЗ для пахотных угодий Пензенской области по модифицированной методике.

Величина индекса НБДЗ становится отрицательной и составляет «- 35,13%» от общей площади пахотных угодий Пензенской области. Существенная корректировка всей картины деградации пашни в регионе произошла по следующим причинам: по данным региональной агрохимической службы, в годы с VI по VI туры почвенного обследования, совпадающие с началом и окончанием расчетного периода для модифицированной методики НБДЗ, произошло ухудшение обеспеченности пахотных почв Пензенской области гумусом, фосфором, калием, а также увеличение их кислотности. Содержание подвижного фосфора за анализируемый период уменьшилось на 21,7% пашни Пензенской области (4555,1 км²), обменного калия – на 38,4% (8048,7 км²), гумуса – на 10,4% (2188,6 км²), кислотность возросла на 14,7% (3077,2 км²) (Экономика деградации земель и продовольственная безопасность регионов России, 2022).

Следует отметить, что любое ухудшение анализируемых агрохимических показателей при использовании модифицированной методики диагностировалось как деградация земель, даже если их итоговые величины не выходили за пределы оптимума.

Таким образом, на основании базовых установок, заложенных в платформу «Trends.Earth» и рекомендуемых КБО ООН для расчета нейтрального баланса деградации земель, доля «улучшенных земель» в Пензенской области в 2001–2010 гг. составила 70,70%, «деградированных» – 10,22%, индекс НБДЗ – 60,48%. Наибольшее влияние на компонент деградации земель оказал показатель их продуктивности. Показатель почвенного углерода был малозначимым, что связано с недостаточным качеством встроенных в платформу «Trends.Earth» глобальных данных, с использованием которых расчет динамики почвенного углерода ведется не по фактическому содержанию гумуса в почвах, а на основании усредненных данных для отдельных типов наземного покрова. Величина этого показателя требует корректировок с учетом национальных данных.

Добавление показателей изменения содержания органического вещества, обменного калия, подвижного фосфора и кислотности в пахотных почвах Пензенской области, установленных в результате агрохимического обследования, повысило долю деградированных земель до 67,54%.

Наряду с показателями агроистощения, дегумификации и подкисления в систему корректировок стандартной методики НБДЗ для аграрных территорий предлагается внести изменения в матрицу перехода динамики наземного покрова таким образом, чтобы показатель зарастания сельскохозяйственных земель рассматривался как негативный фактор.

С учетом проведенных корректировок систему НБДЗ можно рекомендовать как интегрированную систему мониторинга деградационных процессов не только в Пензенской области, но и в других регионах Приволжского федерального округа РФ, что позволит формировать там укрупненные стратегии устойчивого землепользования.

Кроме того, для системы использования пахотных земель Кузнецкого района и Пензенской области в целом можно предложить следующие мероприятия:

- 1) переход на адаптивно-ландшафтное земледелие (в том числе, - создание системы лесополос), в своей основе представляющее собой комплекс мероприятий, направленных на сохранение и расширенное воспроизводство плодородия почв;

2) введение практик экологически ориентированных форм хозяйствования (например, органическое земледелие), в том числе путем замещения на части территории традиционного сельского хозяйства;

3) принятие мер стимулирования устойчивого землепользования, в качестве которых могут выступать как организация обучающих семинаров и тренингов, информирование населения и сельхозтоваропроизводителей, так и введение дополнительной налоговой нагрузки на тех собственников, у которых за отчетный период ухудшилось состояние земель.

4.3. Оценка экономики деградации земель⁵

Результаты апробации методологии ЭДЗ для Пензенской области в целом, Кузнецкого муниципального района и агрохозяйства «Трудовой путь» представлены в табл. 4.3.-1. Показатель экономической эффективности работ по восстановлению земель (соотношение цены «бездействия» и цены «действия» по отношению восстановления деградированных земель) для Кузнецкого муниципального района и агрохозяйства, расположенного в этом районе, выше 1 (восстановление имеет смысл), для области в целом ниже 1 (восстановление земель смысла не имеет). В данных расчетах учитывались только производственные услуги (то есть производство продукции растениеводства), без учета других видов экосистемных услуг (Макаров и др., 2022).

Интересной особенностью полученных результатов является противоречие между целесообразностью восстановления земель для области в целом, с одной стороны, и для района и агрохозяйства, с другой стороны. Указанный факт может свидетельствовать о «нетипичности» процессов деградации земель в районе и в агрохозяйстве по сравнению с регионом в целом.

⁵ Подробные результаты этой главы представлены в публикациях автора:

- Строков А. С., Макаров О. А., Чекин М. Р., Цветнов Е.В., Абдулханова Д.Р., Кубарев Е.Н. Апробация концепции экономики деградации земель (на примере Пензенской области) // Агрехимический вестник. — 2022. — № 5. — С. 93–96. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-5-018
- Макаров О.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Марахова Н.А., Красильникова В.С., Крючков Н.Р., Чекин М.Р., Макаров А.О., Абдулханова Д.Р. Опыт эколого-экономической оценки деградации земель агрохозяйств, расположенных в различных субъектах Российской Федерации // Использование и охрана природных ресурсов в России. — 2022. — № 2. — С. 116–120.

Таблица 4.3.-1. Оценка эффективности «действия» и «бездействия» против деградации земель Пензенской области (Строков и др., 2022)

Показатели	Пензенская область	Кузнецкий муниципальный район	Агрохозяйство «Трудовой путь»
Выручка «дорогой» (восстановленной) земли, руб./га	31 194	31 194	31 194
Затраты на восстановление от ущерба (разовый), руб./га	111 774	124 236	131 638
Затраты на ежегодный уход за восстановленной землей, руб./га	24 167	8 437	9 072
Стоимость «действия» на период 6 лет, руб.	500 168 223 340	9 346 872 826	381 124 520
Стоимость «бездействия» на период 6 лет, руб.	77 609 412 970	7 917 638 739	269 282 425
Стоимость «действия» на период 20 лет, руб.	775 025 025 253	9 834 239 065	417 601 017
Стоимость «бездействия» на период 20 лет, руб.	151 709 100 366	15 477 218 602	526 387 108
Соотношение «бездействия» к «действию»	0,2	1,6	1,3
Соотношение «действия» к «бездействию», %	511	64	79
Выручка от фактического (текущего типа землепользования), руб./га	21 812	5 634	7 459
Соотношение «дорогой» к «дешевой» земле	1,43	5,54	4,18
Площадь деградированного участка, га	1 899 310	71 126	2 605

При сравнении стоимости «действия» и «бездействия» на период 6 и 20 лет наблюдается тренд целесообразности «действия» на более долгий период для

района и хозяйства, «бездействие» для этих уровней хозяйственного устройства в течение 20 лет обойдется дороже. Однако, на период 6 лет, для района и хозяйства выгоднее «бездействие». Для области в целом наблюдается обратная зависимость «действия» и «бездействия» для периодов 6 и 20 лет. Это может говорить о том, что процессы деградации на разных хозяйственных уровнях проходят неоднородно. Для восстановления деградированных земель необходимо четко определять период, чтобы оценить затратность этих работ и выгодную стратегию землепользования. Отдельно необходимо сказать, что для агрохозяйства «Трудовой путь» с учетом его микрорельефа, необходимо уменьшить площадь распашки почвы вдоль склонов оврагов.

Стоит обратить внимание на площадь деградированных земель – на всех уровнях административно-хозяйственного устройства Пензенской области наблюдается довольно высокая их доля. Это также подчеркивает необходимость инвестирования в восстановление земель, особенно для хозяйства «Трудовой путь».

ГЛАВА 5. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ СТЕПЕНИ ДЕГРАДАЦИИ ОТ АГРОИСТОЩЕНИЯ

5.1. Определение микробиологических показателей

Микробиологическая активность и численность микроорганизмов является одним из показателей качества почвы. Для определения микробиологической активности и численности микроорганизмов были выбраны две трансекты в обоих агрохозяйствах. Всего было проанализировано 25 образцов образцы чернозема выщелоченного (Чекин, 2024), отобранные в агрохозяйствах, расположенных на территории агрохозяйств «Евлашевское» и «Трудовой путь» Кузнецкого района Пензенской области, проанализированные ранее на содержание гумуса, обменного калия, подвижного фосфора и кислотности почвы, различающиеся степенью деградации по указанным показателям (Макаров и др., 2022). В перечень микробиологических показателей данных образцов входило: определение базального дыхания (БД); субстрат-индуцированного дыхания (СИД); углерода микробной биомассы, расчет метаболического коэффициента (qCO_2); определение азотфиксации; потенциальной, актуальной активности денитрификации и эмиссии метана; а также учет общей численности прокариот и численности метаболически активных бактерий и архей.

В результате определения БД, СИД и qCO_2 были получены следующие результаты (табл. 5.1.-1).

Таблица 5.1.-1. Результаты определения базального дыхания, субстрат-индуцированного дыхания и метаболического коэффициента (qCO_2).

№ образца	БД (мкг С-СО ₂ /г ч)	СИД (мкг С-СО ₂ /г ч)	qCO_2 , мкг С-СО ₂ /мг Смик/ч
2	1,9	9,28	5,11
5	2,19	10,09	5,43
16	2,04	5,79	8,78
19	1,29	5,56	5,76
26	2,34	8,82	6,61
36	2,61	4,16	15,63
42	0,85	2,94	7,23
47	1,43	3,86	9,26
58	1,2	4,06	7,38
61	1,18	4,39	6,7
64	1,68	5,55	7,54
71	1,5	4,83	7,72
72	1,31	4,49	7,25
73	1,21	5,39	5,59
74	1,35	3,33	10,09
75	1,07	5,1	5,21
76	1,63	6,16	6,61
83	1,1	4,26	6,43
85	1,55	2,54	15,16
87	1,19	4,33	6,86
91	1,2	2,05	14,57
94	1,4	2,64	13,17
97	0,72	0,71	25,06
99	2,12	3,9	13,52
100	1,95	5,59	8,7

Значения базального дыхания во всех проанализированных образцах варьировало от 0,72 мкг С-СО₂/г ч (образец 97, агрохозяйство Трудовой путь) до 2,61 мкг С-СО₂/г ч (образец 36, агрохозяйство Евлашевское). Показатели БД были несколько выше в образцах агрохозяйства Евлашевское (Рис. 5.1.-1. А, Б). Полученные значения БД указывают на нормальную актуальную дыхательную активность микроорганизмов в исследованных образцах.

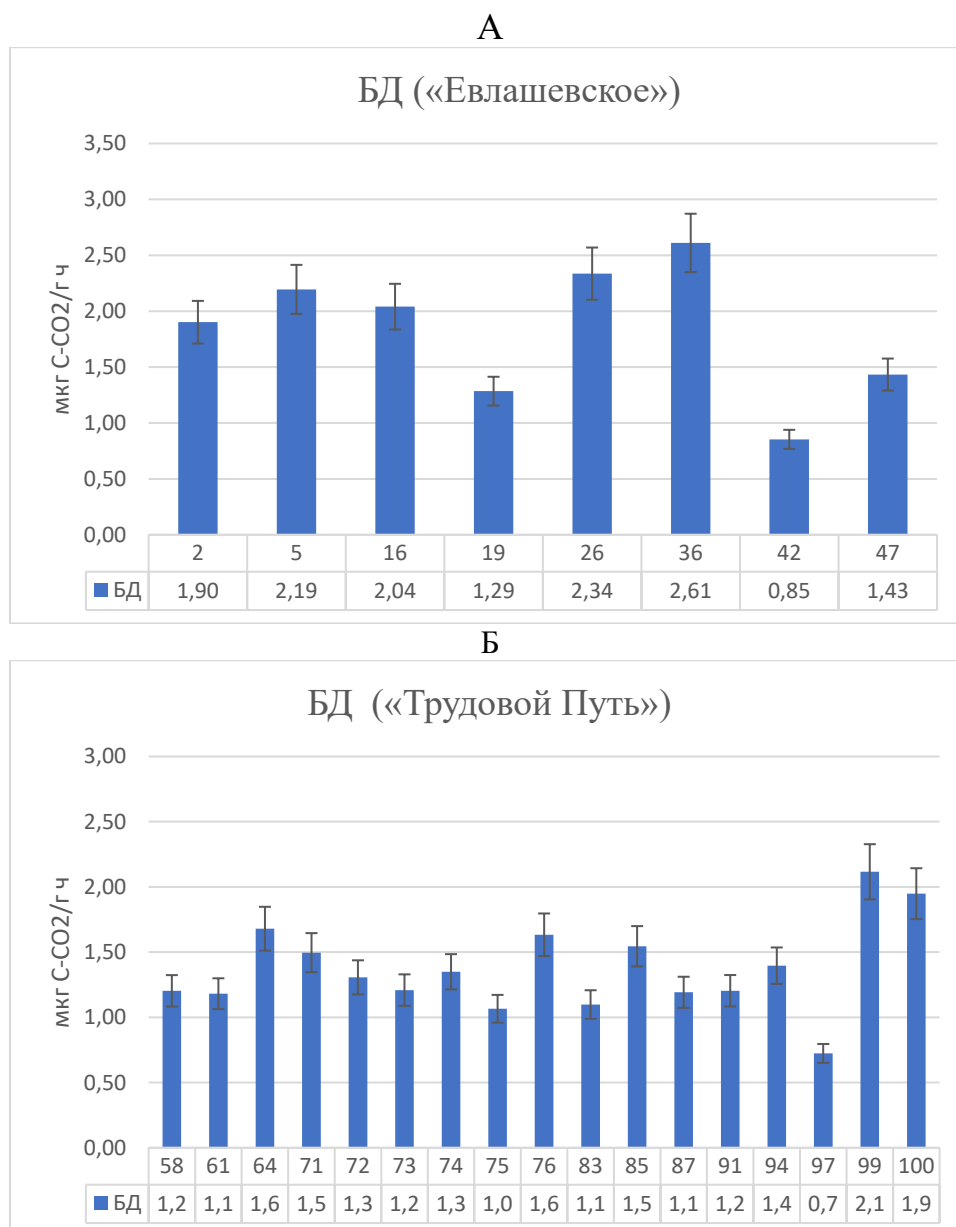
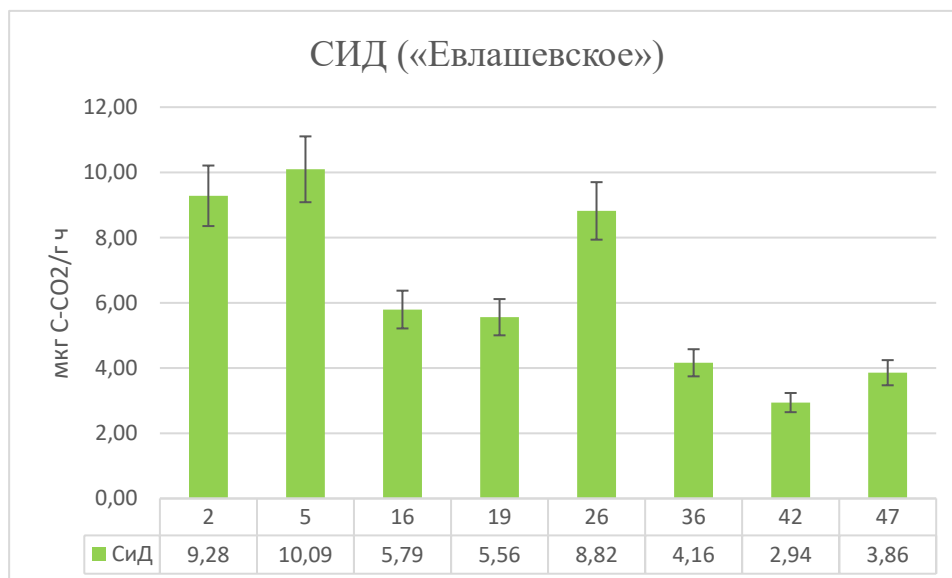


Рисунок 5.1.-1. А, Б Результаты определения базального дыхания.

Минимальное значение СИД составило 0,71 мкг С-СО₂/г ч (образец 97, агрохозяйство Трудовой путь), максимальное – 10,1 мкг С-СО₂/г ч (образец 5, агрохозяйство Евлашевское). Наибольшие значения СИД также наблюдались в образцах 2, 26 (агрохозяйство Евлашевское) и 76 (агрохозяйство Трудовой путь), составили 9,3, 8,82 и 6,16 мкг С-СО₂/г ч соответственно. Обращает на себя внимание очень низкая дыхательная активность в образце 97, остальные же образцы показали нормальный отклик дыхания на внесение глюкозы, значения СИД в 2-10 раз выше значений БД, что указывает на достаточно высокую потенциальную активность микроорганизмов в исследованных образцах (Рис. 5.1.-2. А, Б).

А



Б

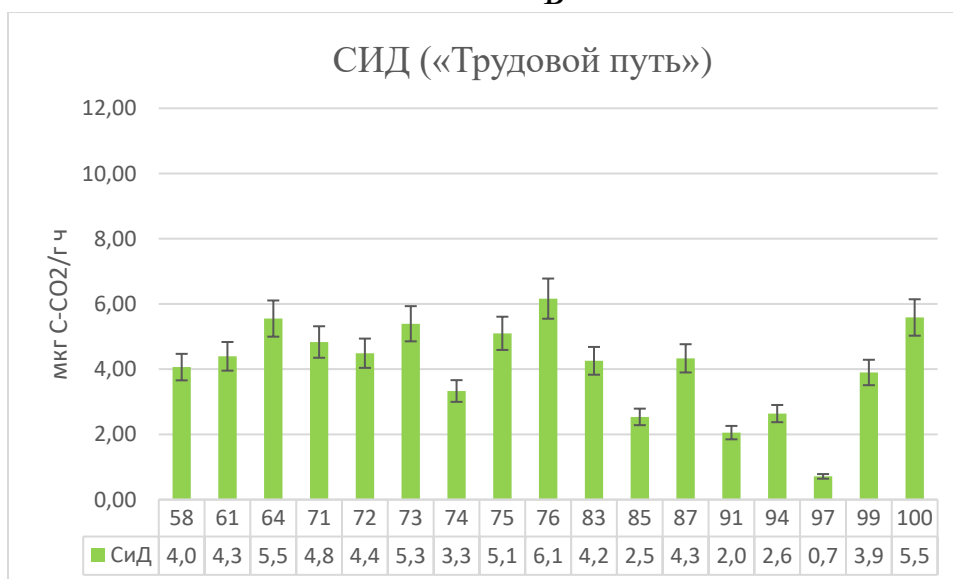
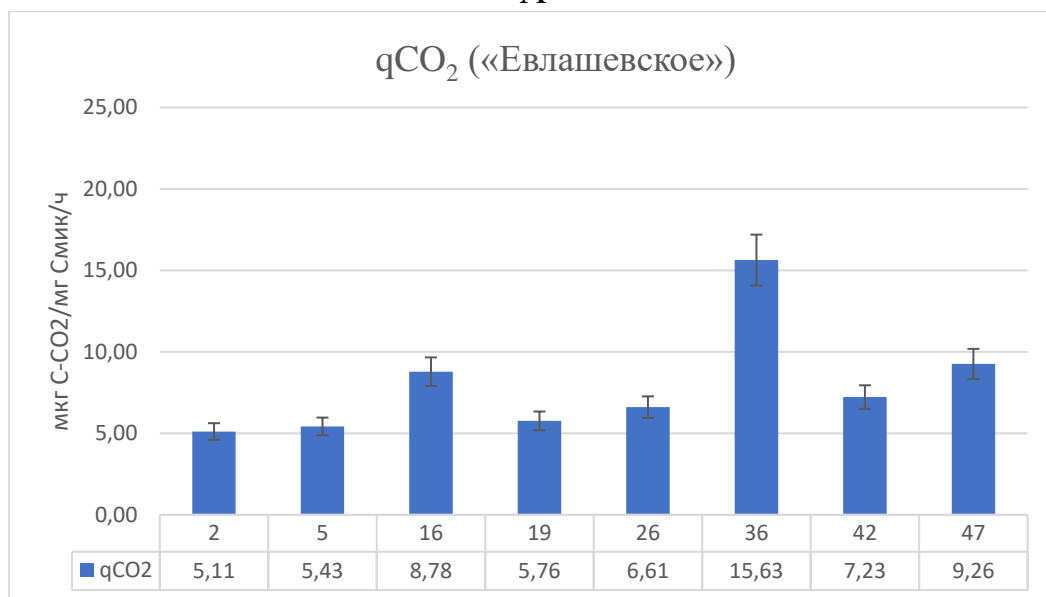


Рисунок 5.1.-2. А, Б. Результаты определения субстрат-индуцированного дыхания.

Определение микробного метаболического коэффициента q_{CO_2} показало следующее: значения варьировали от 5,11 до 25,06 мкг С-СО₂/мг С_{мик}/ч (образцы 2 и 97 соответственно). Поскольку q_{CO_2} можно выразить как соотношение актуальной дыхательной активности (БД) к потенциальной (СИД), можно сказать, что увеличение коэффициента оказывает негативное влияние на микробное сообщество и требует более высоких энергетических затрат на поддержание биомассы (Рис 5.1.-3. А, Б).

А



Б

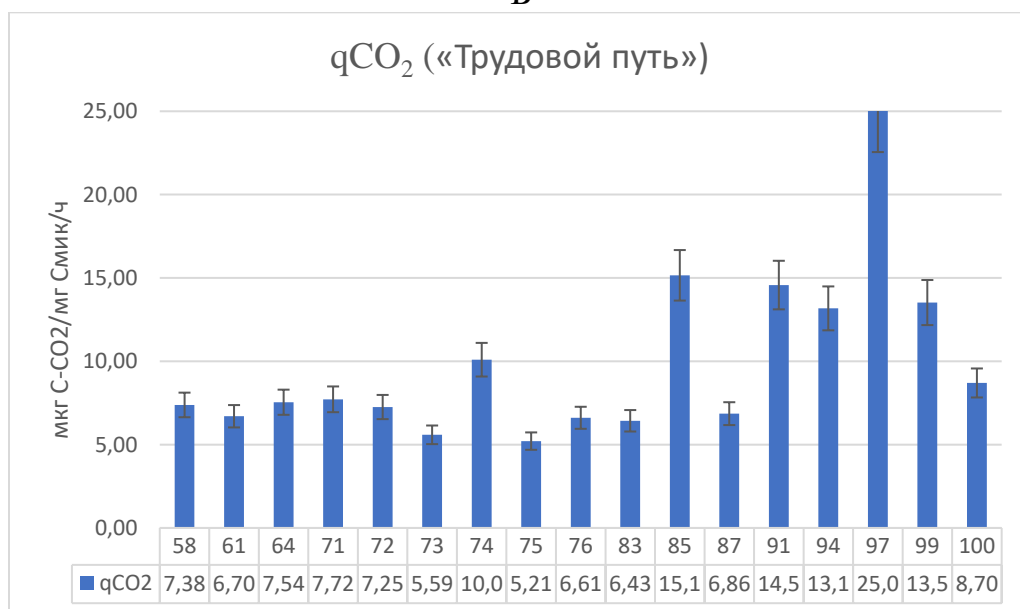


Рисунок 5.1.-3. А, Б. Определение микробного метаболического коэффициента qCO_2 .

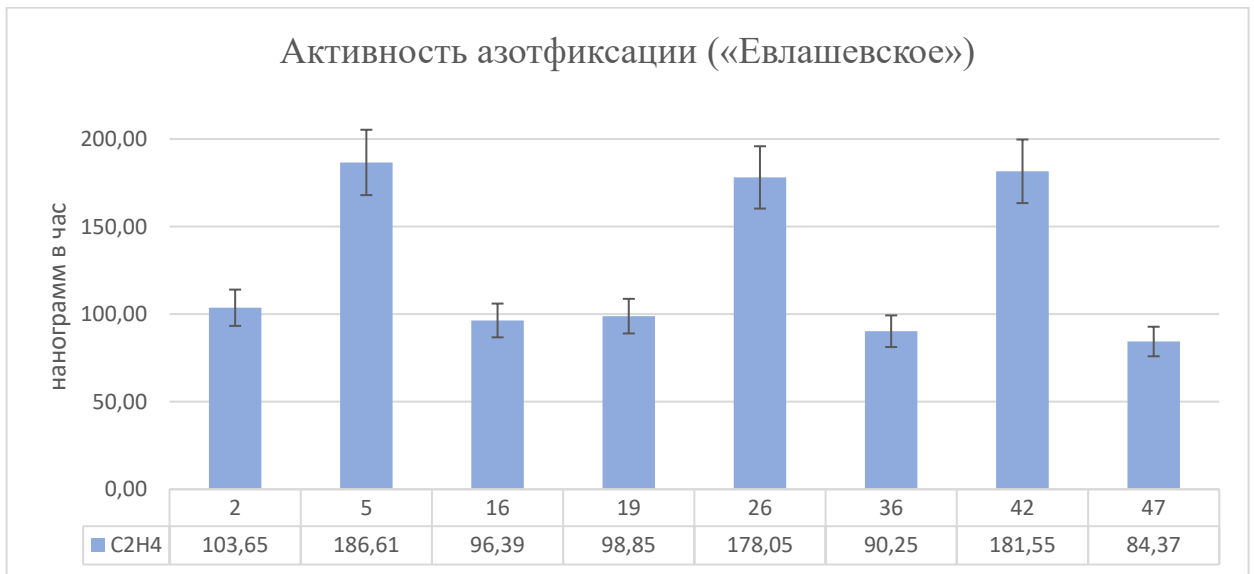
Результаты определения потенциальной активности азотфиксации, потенциальной, актуальной денитрификации и эмиссии метана представлены в Таблице 5.1.-2.

Таблица 5.1.-2. Результаты определения активности азотфиксации, денитрификации и эмиссии метана.

№ образца	Потенциальная азотфиксация (нг C ₂ H ₄ /г ч)	Актуальная денитрификация (нг N ₂ O/г ч)	Потенциальная денитрификация (нг N ₂ O/г ч)	Эмиссия метана (нг CH ₄ /г ч)
2	103,65	11,99	1658,38	0,06
5	186,61	3,88	1495,4	0,08
16	96,39	2,73	207,66	0,1
19	98,85	1,75	1280,1	0,08
26	178,05	0,69	991,47	0,06
36	90,25	2,06	1029,42	0,06
42	181,55	0,99	960,49	0,07
47	84,37	2,12	984,47	0,04
58	101,95	2,05	970,49	0,04
61	189,87	6,53	1452,51	0,07
64	191,69	2,22	1601,79	0,04
71	113,99	1,24	712,35	0,04
72	187,45	1,79	1517,28	0,04
73	158,43	0,83	1101,67	0,04
74	138,21	2,7	723,67	0,09
75	159,63	1,98	1146,65	0,03
76	179,14	1,62	925,53	0,04
83	164,58	9,17	682,82	0,04
85	99,16	3,77	967,13	0,02
87	131,04	2,71	977,3	0,02
91	96,67	1,07	795,61	0,03
94	98,9	12,93	985,36	0,02
97	105,55	121,74	1627,32	0,00
99	106,14	29,07	1270,06	0,03
100	211,25	2,86	934,74	0,07

По результатам определения потенциальной активности азотфиксации выявлены минимальное (84,37 нг C₂H₄/г час, образец 47) и наибольшее (211,25 нг C₂H₄/г час, образец 100). (Рис. 5.1.-4. А, Б). В основном значения потенциальной активности азотфиксации варьировали в пределах от 130 до 190 нг C₂H₄/г час, что может говорить о компенсации микроорганизмами отсутствия азота.

А



Б

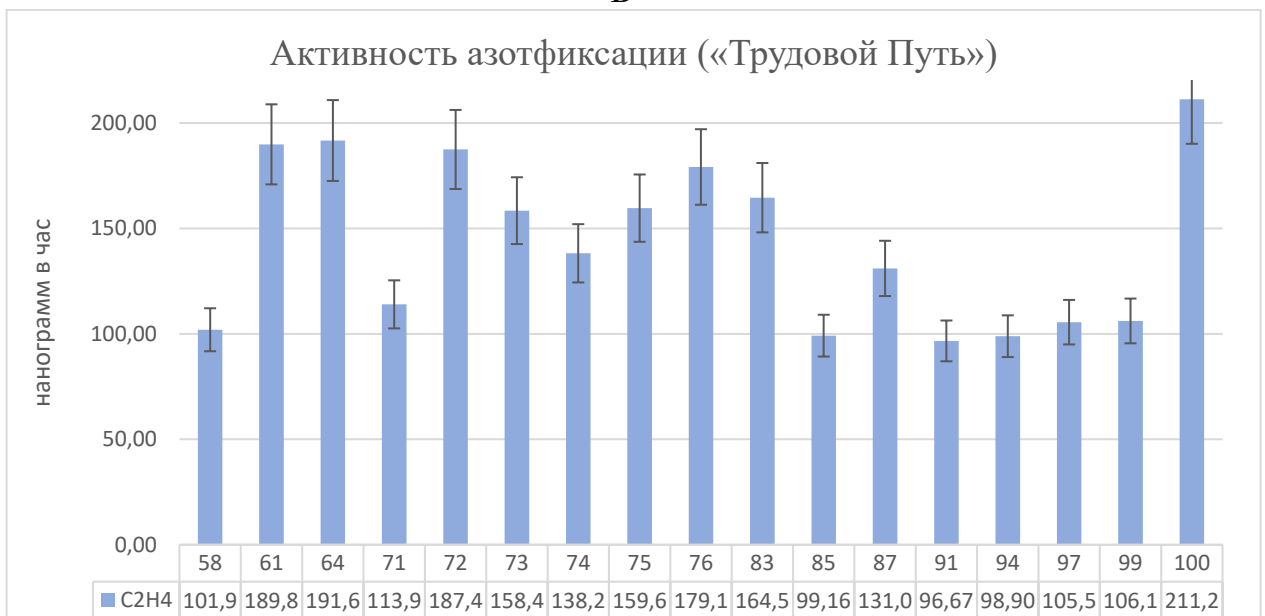


Рисунок 5.1.-4. А, Б. Результаты определения потенциальной активности азотфиксации.

Определение актуальной и потенциальной денитрификации показало следующие результаты (Рис 5.1.-5. А, Б; Рис. 5.1.-6. А, Б). Значения актуальной денитрификации во всех исследованных образцах практически не превышали 15 нг N₂O/г час, исключение составляет образец 97, в котором зафиксировано максимальное значение – 121 нг N₂O/г час, что в 10-120 раз выше остальных значений. Сравнение с показателями потенциальной денитрификации показывало увеличение значений в 70-1600 раз практически во всех образцах, за исключением образца 97, где потенциальная денитрификация увеличилась в 13 раз. Высокие

значения актуальной денитрификации в купе с минимальным увеличением потенциальной денитрификации, полученные для образца 97 могут говорить о высокой доли денитрифицирующих бактерий, которые выбрасывают азот в атмосферу. Это может привести к потере азота из почвы и повлиять на плодородие и доступность питательных веществ для растений. В образце 16 значение потенциальной денитрификации увеличилось в 70 раз, с 2,7 до 207,6 нг N₂O/г час, что по сравнению с другими образцами незначительно. Это указывает на азотное голодание или чрезмерную аэрированность данного образца.

А

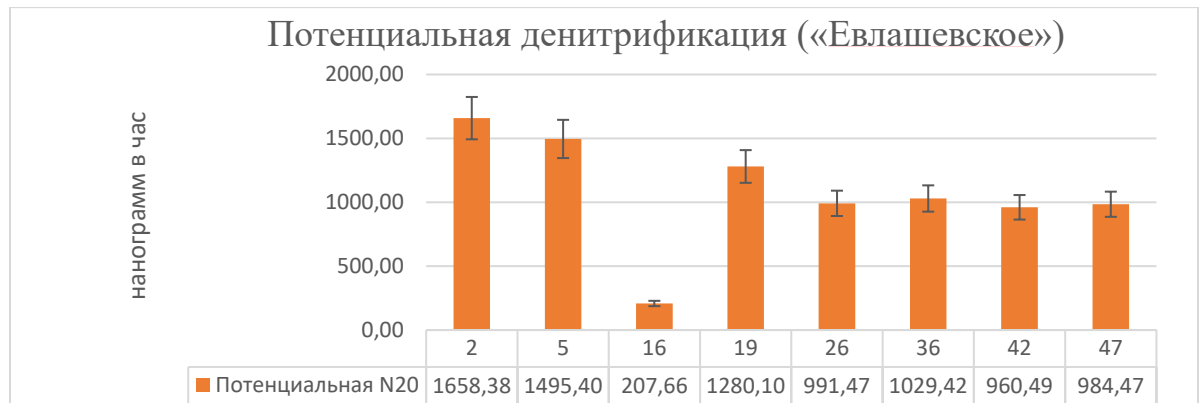


Б



Рисунок 5.1.-5. А, Б. Результаты определения актуальной денитрификации.

А



Б

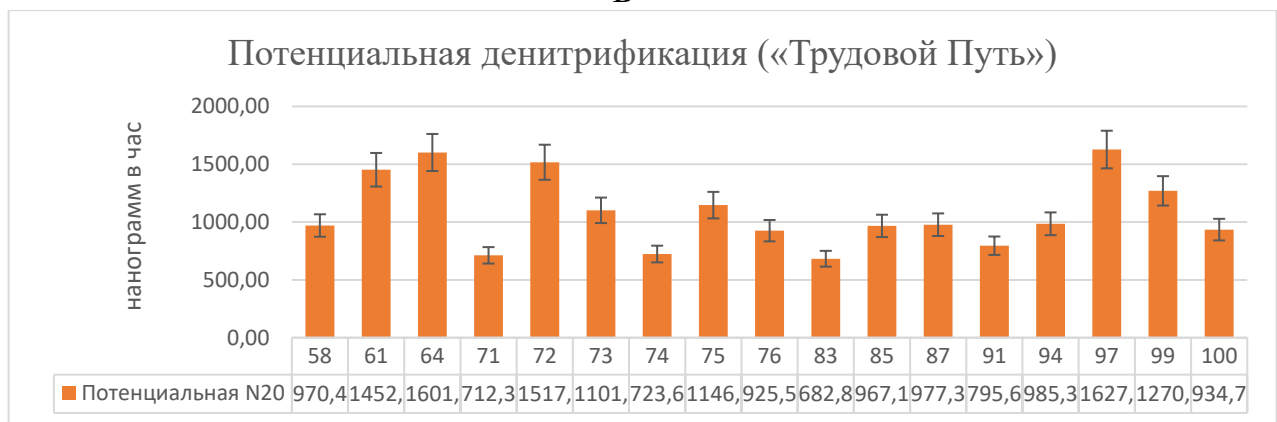
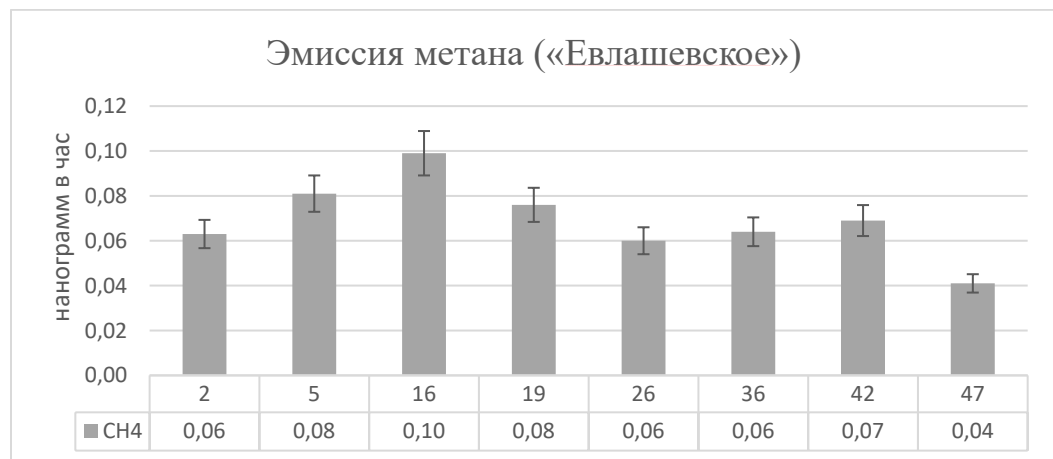


Рисунок 5.1.-6. А, Б. Результаты определения потенциальной денитрификации.

Значения эмиссии метана из почвы оказались незначительными и варьировали от 0 до 0,1 нг $\text{CH}_4/\text{г час}$ (образцы 97 и 16 соответственно) (Рис. 5.1.-7. А, Б). Низкие значения эмиссии метана из почвы указывают на то, что микробные популяции в исследованных образцах не производят значительных количеств газообразного метана. Метан в основном вырабатывается метаногенными археями, группой микроорганизмов, которые процветают в анаэробной (ограниченной кислородом) среде. Таким образом, низкая эмиссия метана предполагает более низкую численность или активность метаногенных архей в почве. На это могут влиять различные факторы, такие как наличие кислорода, содержание влаги в почве, наличие органических веществ и температура.

А



Б

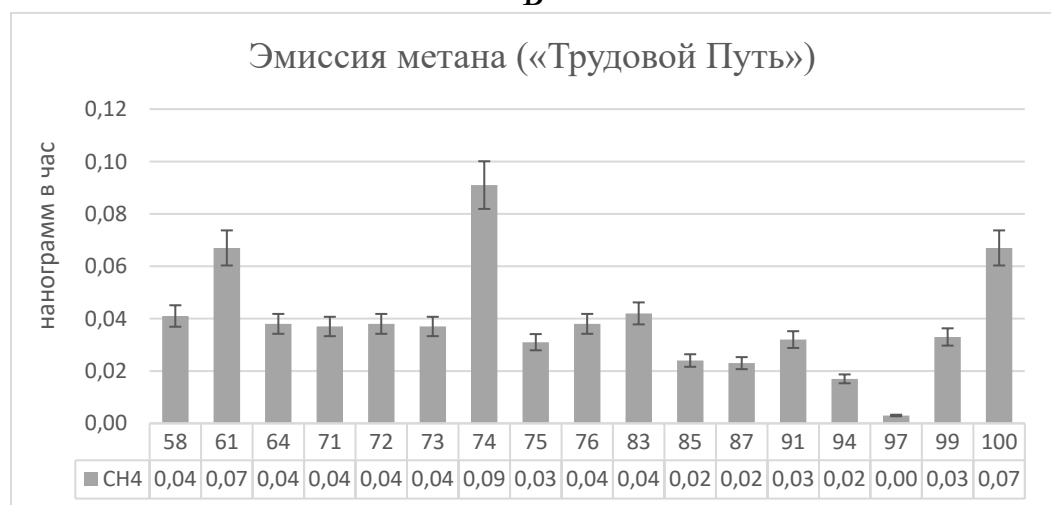


Рисунок 5.1.-7. - А, Б. Результаты определения эмиссии метана из почвы.

Общая численность бактерий была определена методом прямой люминесцентной микроскопии с помощью красителя акридина оранжевого (АО), численность метаболически активных клеток бактерий и архей определялась с помощью метода флуоресцентной гибридизации *in situ* – FISH.

Результаты определения общей численности бактерий (АО) и численности метаболически активных бактерий и архей (FISH) представлены в Таблице 5.1.-3.

Таблица 5.1.-3. Результаты определения общей численности бактерий (АО) и численности метаболически активных бактерий и архей (FISH).

№ образца	Общая численность (АО) (млрд кл. в 1 г почвы)	Численность архей FISH (млрд кл. в 1 г почвы)	Численность бактерий FISH (млрд кл. в 1 г почвы)	Общая численность FISH (млрд кл. в 1 г почвы)
2	2,86	0,15	0,37	0,52
5	3,58	0,14	0,51	0,66
16	2,85	0,21	0,64	0,85
19	2,82	0,13	0,48	0,61
26	3,33	0,12	0,46	0,58
36	2,3	0,14	0,48	0,62
42	3,57	0,17	0,57	0,73
47	2,97	0,1	0,54	0,64
58	2,84	0,27	0,6	0,86
61	3,43	0,21	0,55	0,76
64	3,6	0,2	0,56	0,76
71	2,93	0,21	0,56	0,77
72	3,38	0,15	0,49	0,64
73	3,09	0,14	0,52	0,66
74	2,97	0,13	0,5	0,63
75	3,2	0,19	0,5	0,69
76	3,39	0,18	0,52	0,71
83	3,28	0,16	0,54	0,7
85	2,84	0,18	0,6	0,78
87	3,25	0,24	0,62	0,86
91	2,81	0,15	0,56	0,72
94	2,86	0,15	0,63	0,78
97	3,04	0,07	0,49	0,56
99	3,06	0,19	0,57	0,76
100	4,27	0,15	0,57	0,72

Определение общей численности бактерий с помощью флуоресцентного

красителя акридина оранжевого (АО) в исследованных образцах показало значения, характерные для пахотного горизонта чернозема выщелоченного (Лысак и др, 2010). Численность варьировала от 2,3 (образец 36) до 4,3 млрд клеток в 1 г почвы (образец 100) (Рис. 5.1.-8.).

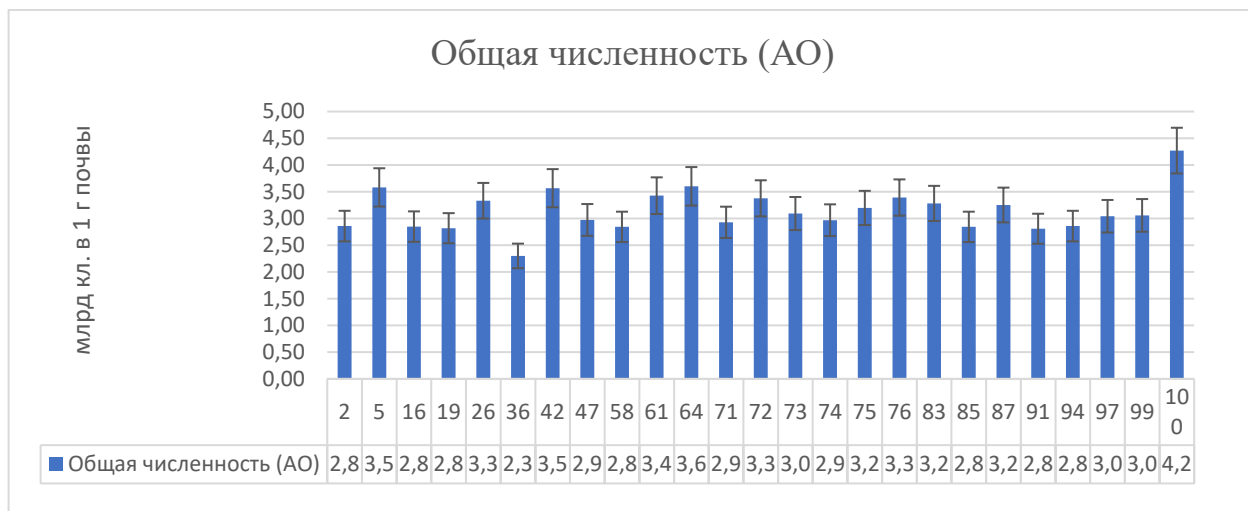


Рисунок 5.1.-8. Результаты определения общей численности бактерий (АО).

Общая численность метаболически активных бактерий и архей с помощью метода FISH составила от 0,5 до 0,9 млрд клеток в 1 г почвы (образцы 2 и 87 соответственно) (Рис. 5.1.-9.). Доля метаболически активных клеток составила 17-30 % от общей численности, что несколько ниже, но сравнимо с работами других авторов (Семенов и др., 2016).

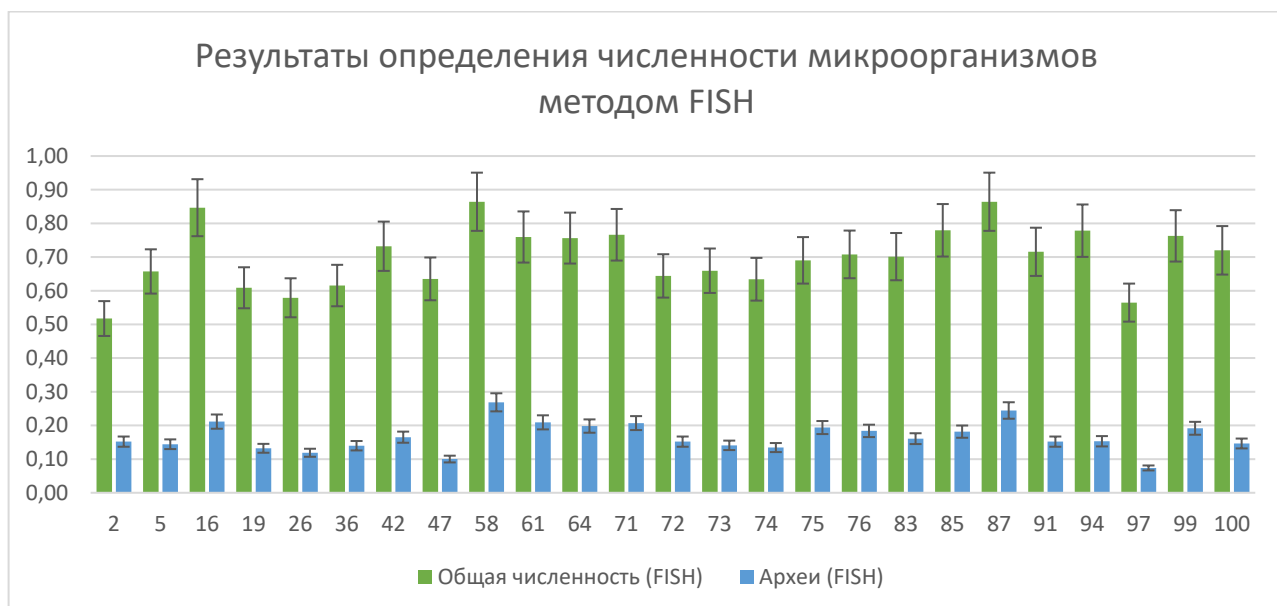


Рисунок 5.1.-9. Результаты определения общей численности метаболически активных клеток и архей (FISH).

Численность метаболически активных архей изменялась от 0,07 до 0,27 млрд клеток в 1 г почвы (образцы 97 и 58 соответственно) (Рис. 5.1.-9). Соотношение численности архей составило 13-31 % от общей численности метаболически активных клеток (Рис. 5.1.-10).

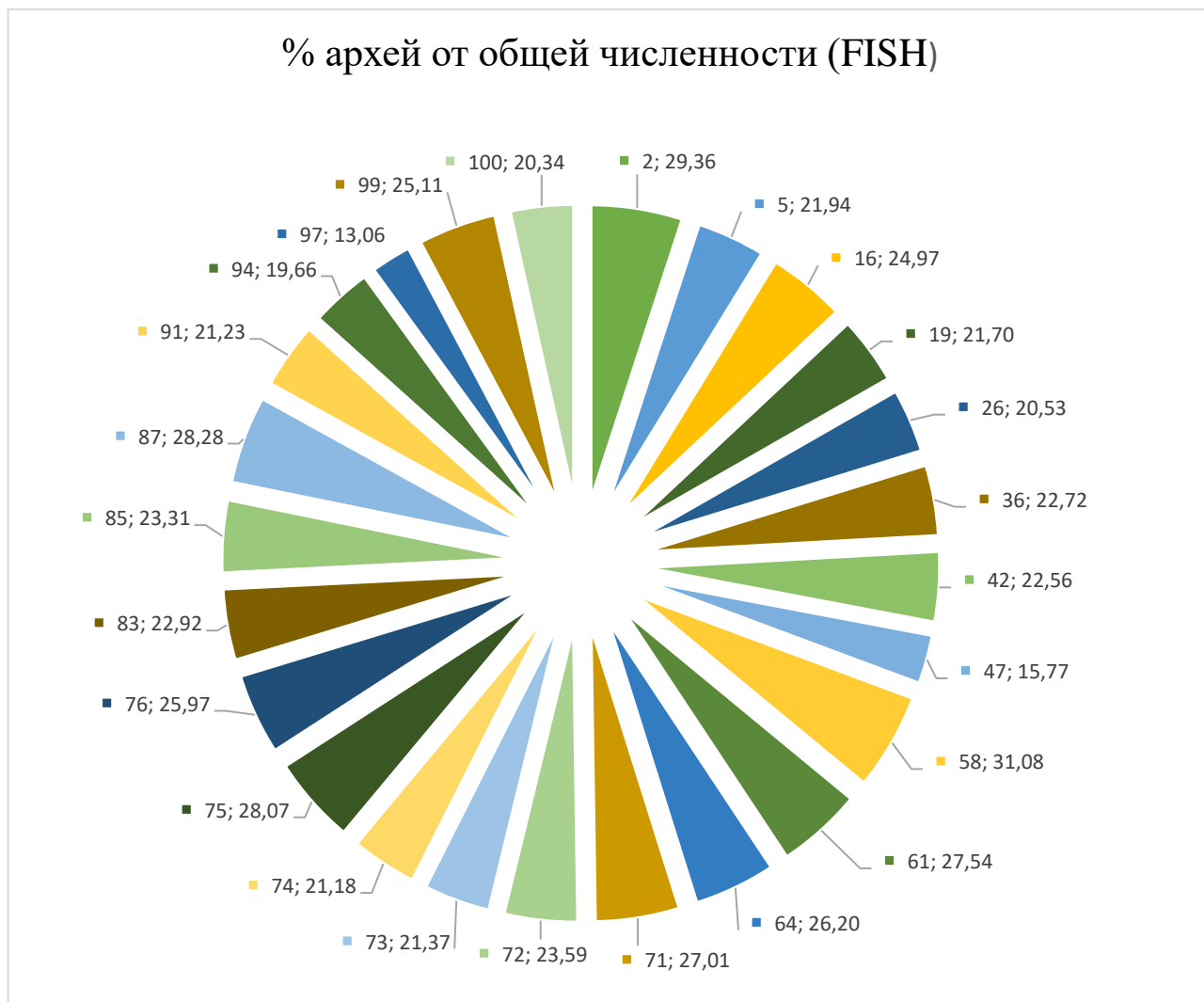


Рисунок 5.1.-10. Доля метаболически активных архей от общей численности (FISH).

5.2. Определение взаимосвязи микробиологических и агрохимических показателей⁶

Для изучения взаимосвязи микробиологических и агрохимических показателей с помощью программного обеспечения Stat Soft STATISTICA 10 был проведен кластерный анализ иерархическим методом (Рис. 5.2.-1.). Матрицей для

⁶ Подробные результаты этой главы представлены в публикации автора:

Чекин М.Р. Опыт микробиологической индикации агроистощения чернозема выщелоченного // Агрохимический вестник. — 2024. — № 1. — С. 88–94. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-1-015.

анализа послужили значения агрохимических и микробиологических показателей, определенные в лабораторных условиях.

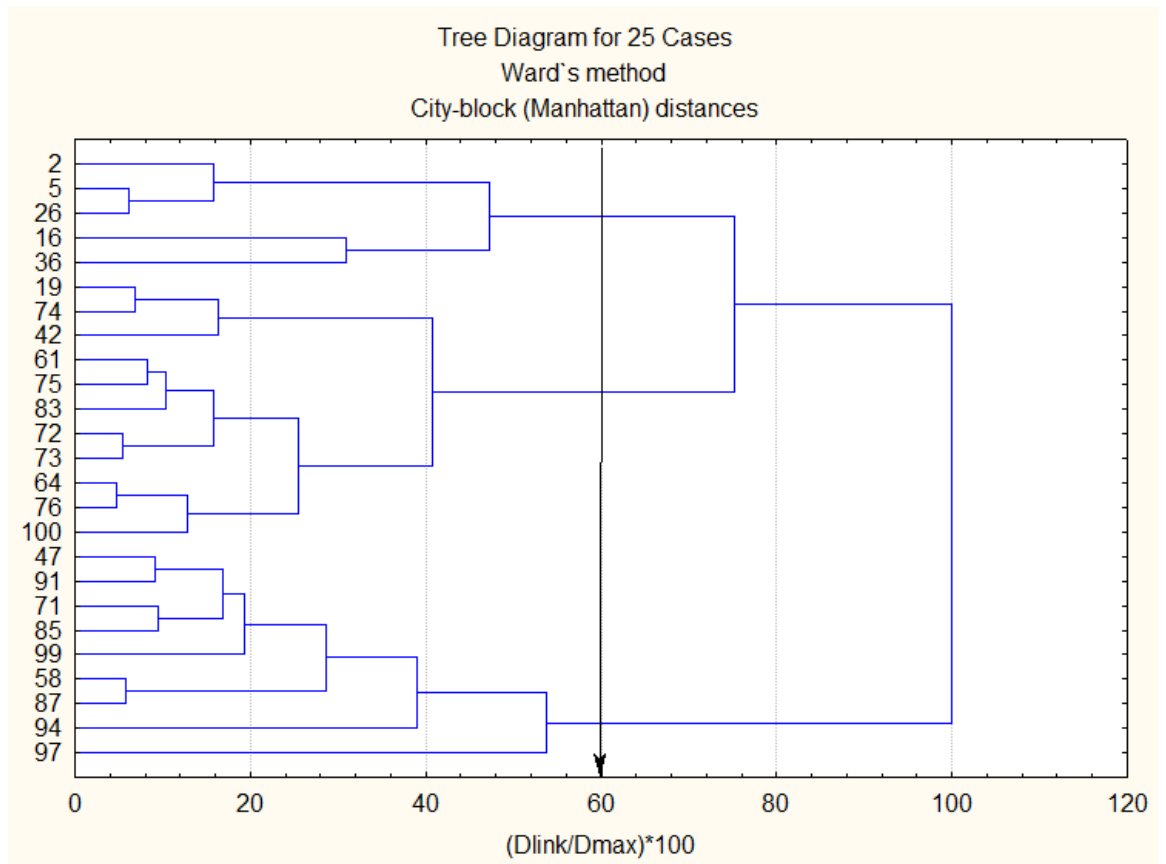


Рисунок 5.2.-1. Результаты кластерного анализа (иерархический метод) (Чекин, 2024).

По результатам анализа образцы распределились на три кластера. Далее был проведен расчет средней степени деградации от истощения относительно эталонной почвы. В качестве эталона выступили характеристики паспорта чернозема выщелоченного, описанные в монографии «Оценка почв» (Савич и др., 2003).

Расчёт средней степени деградации по агрохимическим показателям для каждого кластера показал следующее (Таблица 5.2.-1):

Таблица 5.2.-1. Распределение кластеров на группы и соответствующие степени деградации.

Кластер	№ пробы почвы	K ₂ O	P ₂ O ₅	Гумус	pH	Средняя степень деградации	Усредненное значение степени деградации
1	2	0	4	0	1	1,25	1,1
	5	0	3	0	1	1	
	26	0	3	0	0	0,75	
	16	0	3	1	1	1,25	
2	36	2	3	0	2	1,75	1,6
	19	2	3	0	2	1,75	
	74	0	3	1	2	1,5	
	42	0	3	2	2	1,75	
	61	1	3	2	0	1,5	
	75	0	3	1	2	1,5	
	83	0	3	2	1	1,5	
	72	1	3	3	0	1,75	
	73	0	3	2	1	1,5	
	64	0	3	2	1	1,5	
	76	0	3	2	2	1,75	
	100	1	3	1	1	1,5	
3	47	1	4	3	1	2,25	2,1
	91	1	3	3	2	2,25	
	71	0	3	3	2	2	
	85	1	3	3	1	2	
	99	1	3	2	2	2	
	58	0	4	3	1	2	
	87	1	2	3	2	2	
	94	1	3	1	3	2	
	97	1	3	3	2	2,25	

Средняя степень деградации в образцах почвы первого кластера варьировала от 0,75 до 1,25. Усреднённое значение степени деградации по четырем агрохимическим показателям для образцов первого кластера равна 1,1, в первом кластере представлены слабодеградированные почвы. Во втором кластере средняя степень деградации составляла 1,5 – 1,75. Усреднённое значение степени

деградации по четырем агрохимическим показателям для образцов второго кластера равна 1,6, почвы этого кластера имеют слабодegradированную степень, стремящуюся ко 2 (среднедеградированной). В третьем кластере почвы имеют среднюю степень деградации 2 – 2,25, усредненное значение степени деградации по четырем агрохимическим показателям для почв этого кластера – 2,1, явно выраженная среднедеградированная степень.

Следующим шагом стало выявление наиболее значимых микробиологических показателей и их вклад в распределение почв по разным степеням деградации. Установление главных различий между образцами почв по исследованным микробиологическим показателям проводилось с помощью факторного анализа методом главных компонент.

На основании критерия Кайзера и «Каменной осыпи» (Рис. 5.2.-2) выделено 3 значимые главные компоненты, объясняющие в сумме 75% дисперсии. Для получения оптимального результата был применён метод вращения «Varimax raw».

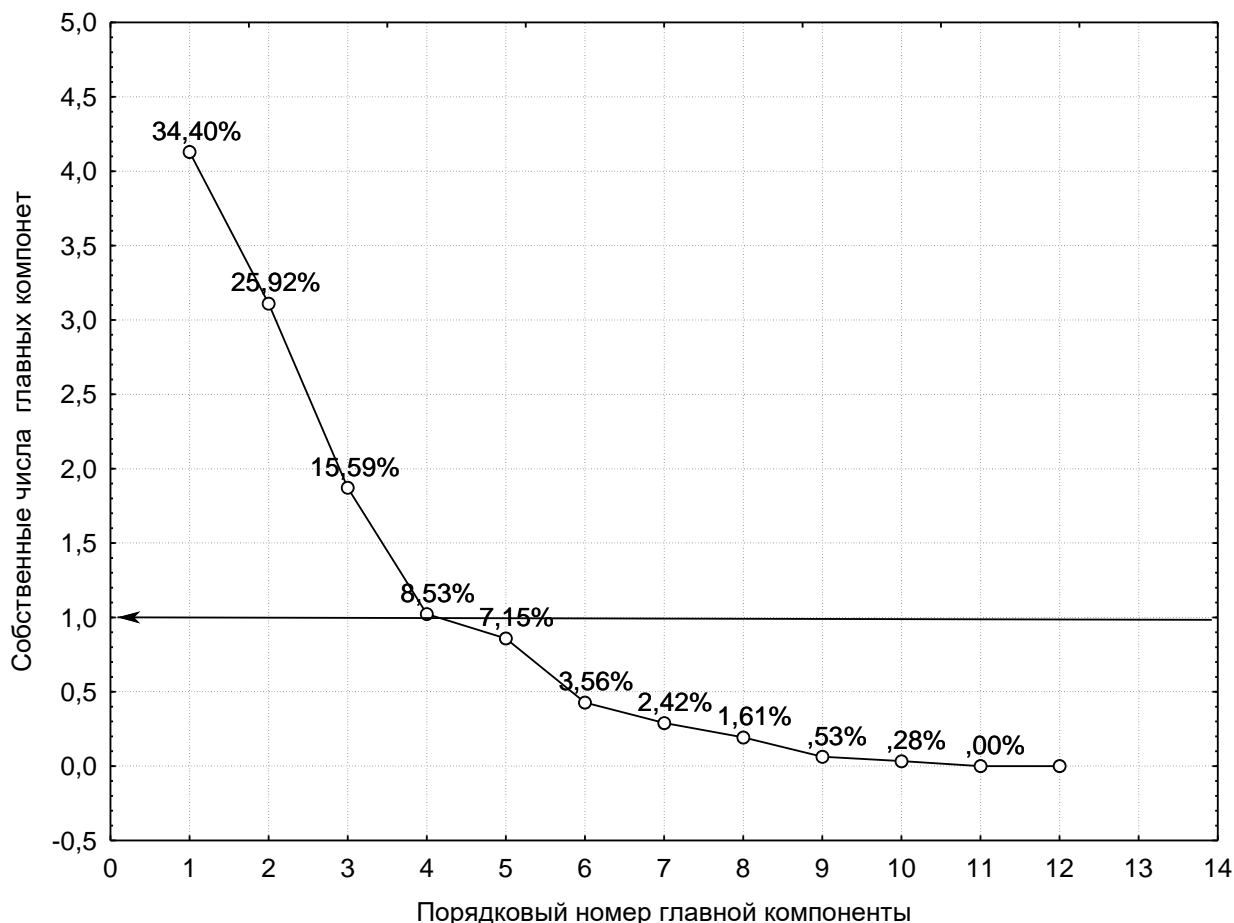


Рисунок 5.2.-2. График «Каменная ось» для метода главных компонент. Пороговое значение критерия Кайзера обозначено стрелкой (Чекин, 2024).

В итоге было установлено (Табл. 5.2.-2.), что ГК1 тесно положительно коррелирует с СИД, метагенезом степенью деградации и отрицательно с актуальной денитрификацией, удельной дыхательной активностью qCO_2 , содержанием азота. Предположение, что микроорганизмы испытывают азотное голодание подтверждается важностью азота как лимитирующего фактора. Можно утверждать, что по мере увеличения степени деградации почв и уменьшения содержания азота падает актуальная денитрификация, удельная дыхательная активность qCO_2 и возрастает СИД и метаногенез. ГК2 – отрицательно коррелирует обилием прокариот по FISH. ГК3- отрицательно с азотфиксацией и общей численностью прокариот (АО).

Таблица 5.2.-2. Корреляция между микробиологическими параметрами, среднеарифметической степенью деградации, содержанием азота в почве и ГК 1-3.
*- показатель не использовался в факторном анализе (Чекин, 2024).

Микробиологический показатель	ГК 1	ГК 2	ГК 3
БД	0,65	0,21	0,24
СИД	0,79	0,33	-0,30
qCO ₂	-0,72	0,16	0,49
Потенциальная N ₂ O	-0,26	0,60	-0,40
Актуальная N ₂ O	-0,76	0,39	0,09
CH ₄	0,76	0,10	0,01
Азотфиксация	0,19	0,04	-0,92
Общая численность (АО)	0,04	-0,05	-0,91
Численность архей FISH	0,20	-0,80	-0,11
Численность бактерий FISH	-0,21	-0,90	0,03
Общая численность FISH	-0,04	-0,97	-0,03
Средняя степень деградации*	0,71	-0,26	-0,37
Азот*	-0,73	-0,12	0,15

По взаиморасположению образцов почв (Рис. 5.2.-3) с разным средним баллом деградации по агрохимическими показателями в плоскости образованной ГК1 и ГК2, было установлено, что по ГК1 можно разделить балы деградации по трем категориям 1-1,25; 1,5-1,75, 2-2,25. Дополнительно можно разделить средние балы деградации 2 и 2,5 по обилию прокариот по FISH, которое выше при среднем балле деградации 2. ГК3 не связана со степенью деградации почв. Поскольку метод главных компонент не ищет различий между разными классами объектов, главные компоненты хуже различают средние балы деградации почв. Однако результаты по ГК1 позволяют утверждать, что главные различия в микробиологических свойствах исследованных почв связана со средней степенью деградации агрохимических свойств и особенно с содержанием азота.

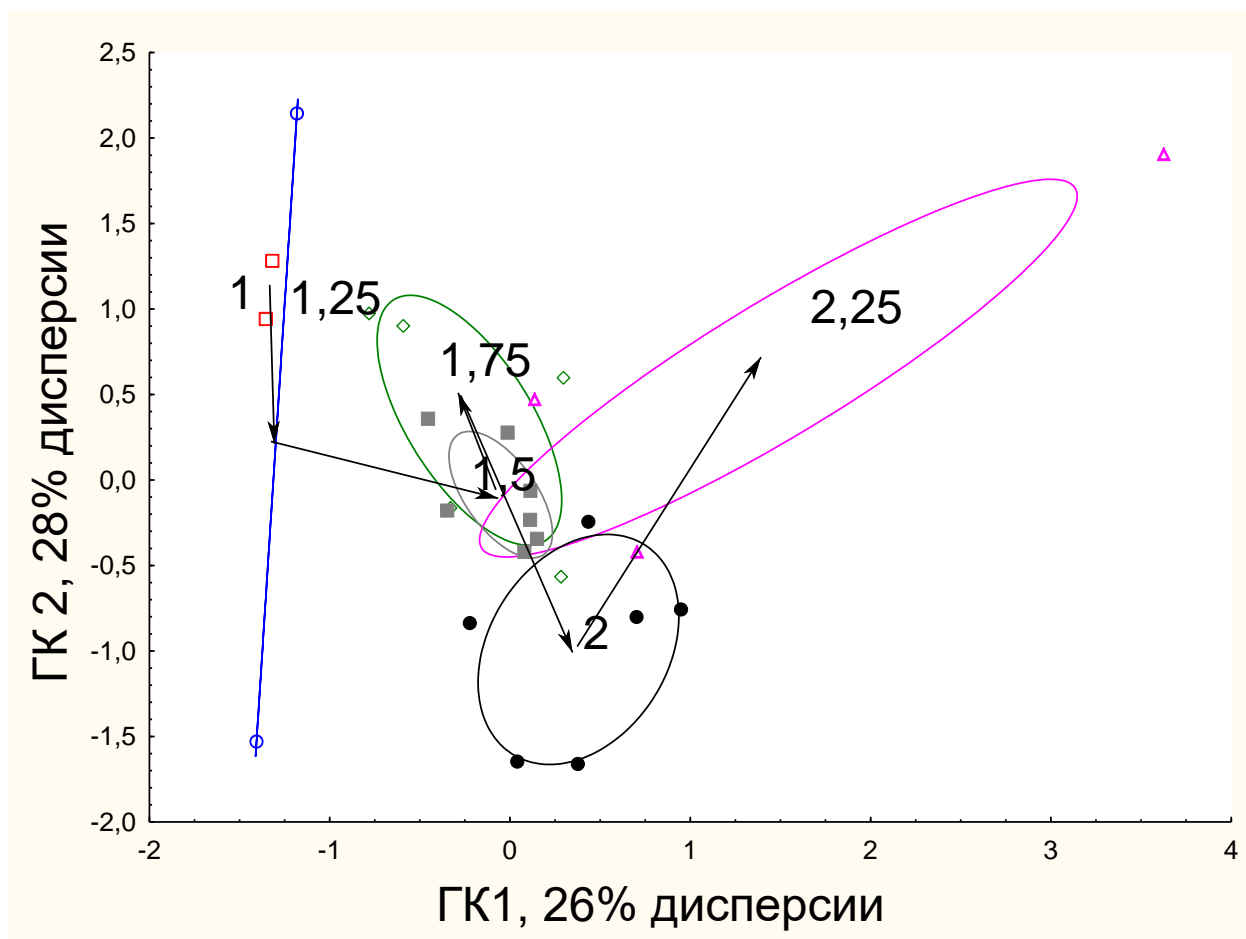


Рисунок 5.2.-3. Взаиморасположение образцов почв с разным средним баллом деградации в плоскости образованной ГК1 и ГК2. Корреляционный эллипсы ограничивают область 95% вероятности нахождения на плоскости образцов почвы той или иной степени деградации. Стрелками показано направление последовательного увеличения степени деградации.

Главные различия в микробиологических свойствах исследованных почв связана со средней степенью деградации агрохимических свойств и особенно с содержанием азота. По мере увеличения среднего бала деградации и уменьшения содержания азота падает актуальная денитрификация, удельная дыхательная активность (qCO_2) и возрастает СИД и метаногенез.

5.3. Применение дискриминантного анализа для микробиологической индикации агроистощения⁷

Для того, чтобы найти уравнения для классификации, содержащие меньшее количество микробиологических показателей и поэтому более удобные для практического применения, а также имеющие биологический смысл, были найдены дискриминантные функции. Был проведён дискриминантный анализ микробиологических показателей с помощью программного обеспечения Stat Soft STATISTICA 10. В анализе в качестве классов, группирующих образцы почв, были выбраны среднеарифметические значения степени деградации чернозёма выщелоченного рассчитанные по уменьшению содержания гумуса, обменного калия, подвижного фосфора и изменения кислотности почвы по сравнению с эталонной почвой, рассчитанные в соответствии с «Методическими рекомендациями...», 1994. В качестве эталона выступили характеристики паспорта чернозема выщелоченного, описанные в монографии «Оценка почв» (Савич и др., 2003).

Дискриминантный анализ (вариант с последовательным включением в анализ показателей) показал возможность разделения образцов почв по степени деградации на основании исследованных микробиологических параметров: Wilks' Lambda=0,003 approx. $F(35,57) = 4,6755$ $p < 0,00001$ (Табл. 5.3.-1). Базальное дыхание, метаболический коэффициент и потенциальная денитрификация были признаны не значимыми для диагностики степени деградации. Средний процент правильной классификации составил 85% (Табл. 5.3.-2). Анализ недостаточно хорошо различает друг от друга среднюю степень деградации в диапазоне баллов 1,5-1,75.

⁷ Подробные результаты этой главы представлены в публикации автора: Чекин М.Р. Опыт микробиологической индикации агроистощения чернозема выщелоченного // Агрехимический вестник. — 2024. — № 1. — С. 88–94. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-1-015.

Таблица 5.3.-1. Микробиологические показатели, отобранные в ходе анализа для определения степени деградации и их значимость для её определения. Полужирным шрифтом обозначены показатели с $p < 0.05$.

	Wilks' - Lambda	Partial - Lambda	F-remove - (5,13)	p-level	Toler.	1-Toler. - (R-Sqr.)
Биомасса микроорганизмов по СИД	<i>0,02</i>	<i>0,19</i>	<i>10,86</i>	<i>0,00</i>	<i>0,32</i>	<i>0,68</i>
Активность азотфиксации	<i>0,02</i>	<i>0,18</i>	<i>11,76</i>	<i>0,00</i>	<i>0,08</i>	<i>0,92</i>
Численность архей FISH	0,01	0,51	2,46	0,09	0,19	0,81
Общая численность бактерий (АО)	<i>0,01</i>	<i>0,36</i>	<i>4,68</i>	<i>0,01</i>	<i>0,08</i>	<i>0,92</i>
Эмиссия метана	<i>0,01</i>	<i>0,33</i>	<i>5,24</i>	<i>0,01</i>	<i>0,48</i>	<i>0,52</i>
Общая численность FISH	0,01	0,62	1,62	0,22	0,16	0,84
Актуальная денитрификация	0,01	0,66	1,36	0,30	0,47	0,53

Таблица 5.3.-2. Процент правильной классификации горизонтов почв по микробиологическим показателям на основании дискриминантного анализа

Степень деградации, баллы	% правильной классификации	1.25 p=0,08	<1 p=0,08	1.75 p=0,2	2.25 p=0,1	2 p=0,2	1.5 p=0,2
<1	100	0	2	0	0	0	0
1.25	100	2	0	0	0	0	0
1.5	86	0	0	1	0	0	6
1.75	40	0	0	2	0	0	3
2	100	0	0	0	0	6	0
2.25	100	0	0	0	3	0	0
В среднем % правильной классификации	84	2	2	3	3	6	9

В итоге были предложены следующие коэффициенты для классификационных функций (Табл. 5.3.-3), которые, после дополнительной экспериментальной проверки, могут быть рекомендованы для определения степени деградации почв по агрохимическим показателям.

Таблица 5.3.-3. Коэффициенты для классификационных функций, позволяющие определить степень деградации горизонтов чернозёма выщелоченного (Чекин, 2024)

	1.25 p=0,08	1 p=0,08	1.75 p=0,2	2.25 p=0,1	2 p=0,2	1.5 p=0,2
Биомасса микроорганизмов по СИД	15,7	22,7	11,3	5,3	7,1	11,6
Активность азотфиксации	-0,3	0,6	-0,2	-1,0	-0,9	-0,1
Численность архей FISH	-325,1	-699,6	-312,6	-123,5	-92,6	-322,3
Общая численность (АО)	13,1	-47,9	11,1	69,1	62,1	10,1
Эмиссия метана	233,2	555,0	160,2	-278,3	-268,2	166,3
Общая численность FISH	350,5	459,8	298,3	243,7	276,1	307,2
Актуальная денитрификация	0,6	0,7	0,4	0,3	0,3	0,4
Константа	-166,5	-196,7	-113,1	-136,7	-154,6	-122,4

Для того, чтобы найти уравнения для классификации, содержащие меньшее количество микробиологических показателей и поэтому более удобные для практического применения, а также имеющие биологический смысл, были найдены дискриминантные функции. Значимыми оказались две дискриминантные функции: 1 и 2 (Табл. 5.3.-4).

Таблица 5.3.-4. Значимость дискриминантной функции (Чекин, 2024)

Номер дискриминантной функции	Eigen- - value	Процент т объясненно й дисперсии	Canonicl - R	Wilks' - Lambda	Chi-Sqr.	df	p-level
1	22,30	83	0,98	0,00	99,53	35,00	0,00000 004
2	3,01	11	0,87	0,08	44,43	24,00	0,01
3	0,97	5	0,70	0,32	20,11	15,00	0,17
4	0,48	1	0,57	0,62	8,27	8,00	0,41
5	0,08	0,1	0,27	0,93	1,35	3,00	0,72

На основании взаиморасположения почвенных образцов в плоскости, образованной дискриминантными, функция (ДФ) 1 и 2 было установлен (Рис. 5.3.-1), что имеются два биологических фактора, которые коррелируют со степенью деградации по показателям агроистощения. ДФ1 позволяет выявить три диапазона степеней деградации почвы: <1, 1,25-1,75, 2-2,25. ДФ2 позволяет дополнительно

разделить балл деградации 1,25 от 1,5-1,75 (если значения ДФ2 меньше 1,5, то образец следует отнести к среднему баллу деградации 1,25 и, соответственно, наоборот) и 2 балла от 2,25 (если значения ДФ2 меньше 0, то образец следует отнести к среднему баллу деградации 2 и наоборот).

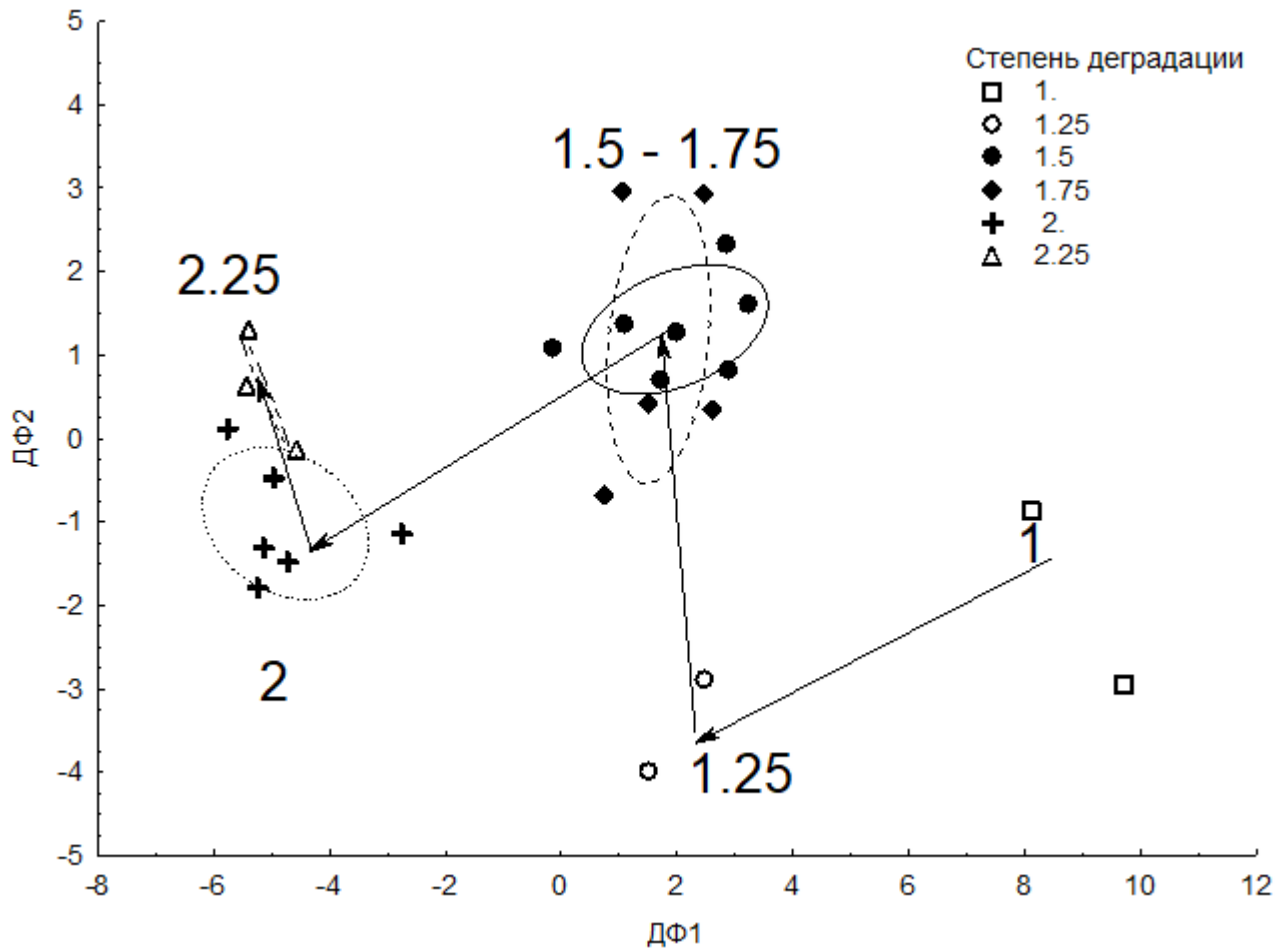


Рисунок 5.3.-1. Взаиморасположения почвенных образцов в плоскости образованной дискриминантными функция (ДФ) 1 и 2. Корреляционный эллипсы ограничивают область 95% вероятности нахождения на плоскости образцов почвы той или иной степени деградации. Стрелками показано направление последовательного увеличения степени деградации (Чекин, 2024).

Значения коэффициентов для дискриминантных функций представлены в Таблице 5.3.-5:

Таблица 5.3.-5. Значимость дискриминантной функции Значения коэффициентов для дискриминантных функций (Чекин, 2024)

Микробиологический параметр	ДФ 1	ДФ 2
Биомасса микроорганизмов по СИД	1,04	-0,96
Активность азотфиксации	0,11	0,03
Численность архей FISH	-38,46	8,20
Общая численность (АО)	-8,05	-0,11
Эмиссия метана	62,36	-2,08
Общая численность FISH	11,06	-14,99
Актуальная денитрификация	0,02	-0,03
Константа	0,00	9,97

Дискриминантные функции можно использовать для биоиндикации степени деградации горизонтов чернозёма выщелоченного, так же, как и классификационные функции, но с меньшей точностью классификации. Однако они имеют одно преимущество: используя их, можно определить степень деградации с помощью простых и наиболее распространенных методов – газовой хроматографии и люминесцентной микроскопии. На основании Таблицы 5.3.-5, удалось упростить алгебраическое выражение ДФ1 и 2, оставив в формуле наиболее значимые члены, а также дать им биологическое объяснение (Чекин, 2024).

Таблица 5.3.-6. Значимость дискриминантной функции. Стандартизированные коэффициенты ДФ 1 и 2. Наиболее значимые члены выделены полужирным шрифтом.

Микробиологический показатель	ДФ 1	ДФ 2
Биомасса микроорганизмов по СИД	1,23	-1,14
Активность азотфиксации	3,11	0,90
Численность архей FISH	-1,30	0,28
Общая численность (АО)	-2,88	-0,04
Эмиссия метана	1,13	-0,04
Общая численность FISH	0,83	-1,12
Актуальная денитрификация	0,52	-0,75

Нами были предложены упрощенные варианты ДФ1 и ДФ 2 (Чекин, 2024):

ДФ1 = $18,35 + 1,13 * (\text{Потенциальная азотфиксация} - \text{Численность прокариот})$

$r = 0,73$; $p = 0,00002$; $r^2 = 0,54$ (Рис. 5.3.-2).

ДФ2 = $7,37 - 0,58 * (\text{Биомасса по СИД} + \text{Численность прокариот по FISH})$

$r = -0,60$; $p = 0,001$; $r^2 = 0,36$ (Рис. 5.3.-3).

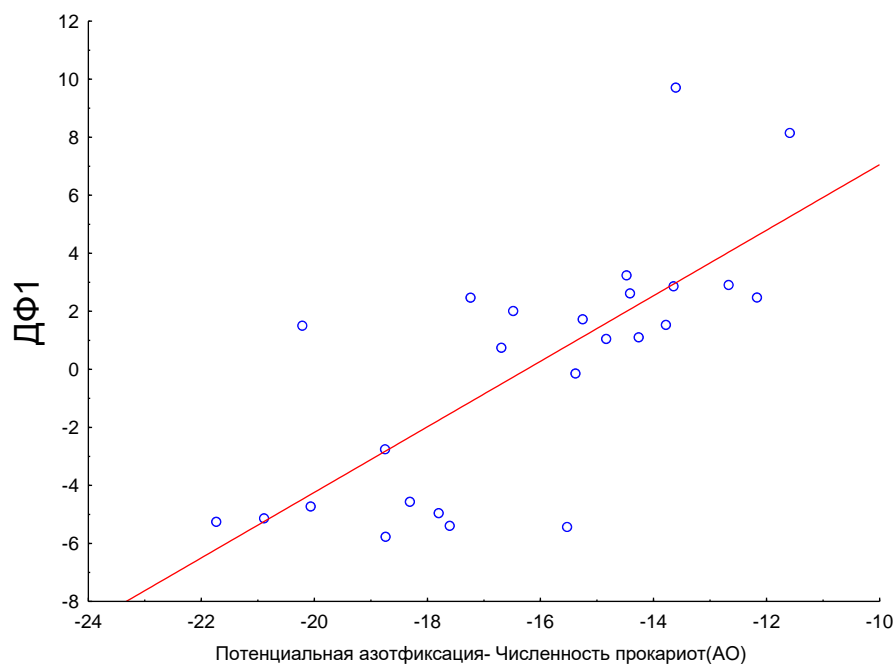


Рисунок 5.3.-2. Корреляция между ДФ1 и разностью потенциальной азотфиксации и общей численностью прокариот (АО) (Чекин, 2024).

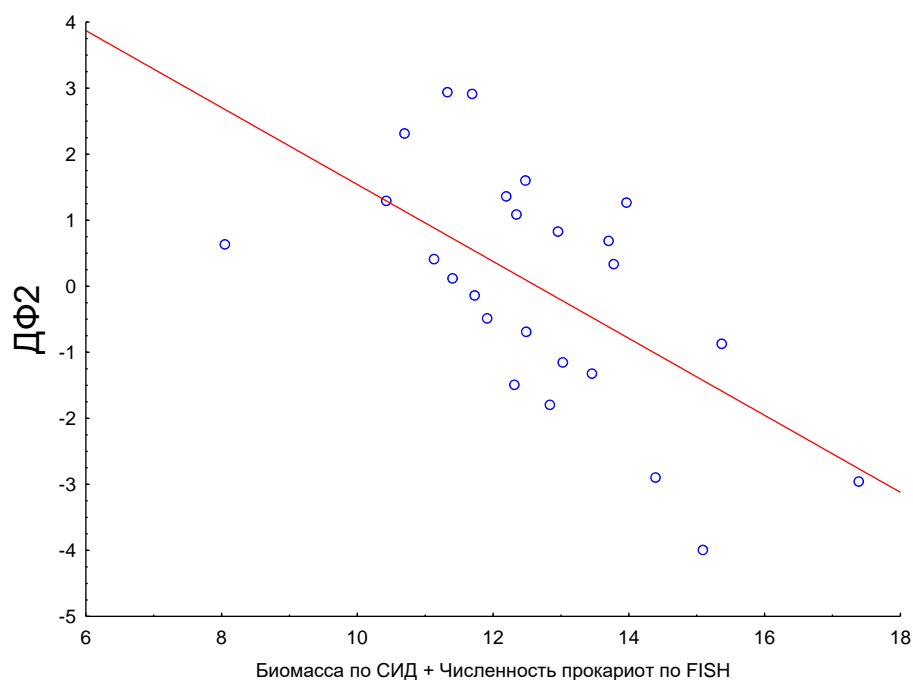


Рисунок 5.3.-3. Корреляция между ДФ2 и суммой биомассы микроорганизмов по СИД с численностью прокариот по FISH (Чекин, 2024).

Этим упрощенным формулам, отражающим биологические факторы, связанные с деградацией почв, можно дать биологическое объяснение. Разность: «Потенциальная азотфиксация – Общая численность прокариот (АО)» можно интерпретировать как удельную азотфиксирующую активность прокариот, которая падает по мере деградации агрохимических показателей горизонта чернозема. Сумма биомассы по СИД и численность прокариот по FISH отражают активную (а не общую) биомассу микроорганизмов (клетки, реагирующие на внесение глюкозы дыхательным откликом или содержащие много рРНК). Если СИД учитывает и грибы, и бактерии, то второе слагаемое только прокариот, что подчеркивает значимость именно активной биомассы прокариот. По мере увеличения деградации, величина активной биомассы периодически падает, предваряя собой существенную перестройку микробной системы в определенных диапазонах степеней деградации, за счет которой она резко восстанавливается. Таким образом волнообразные колебания активной биомассы свидетельствуют об изменении агрохимических свойств почвы, что в итоге указывает на увеличение степени деградации (Чекин, 2024).

Стоит отметить, что при помощи данных показателей оценивается состояние земель в текущее время. При неизменности внешних факторов (внесение удобрений, изменение типа землепользования и т.д.), уменьшение удельной азотфиксации отражает переход от слабой к средней степени деградации, при этом предшествующее снижение активной биомассы, позволяет спрогнозировать изменение степени деградации. Это дает возможность применять данные показатели в методике «действия»/ «бездействия» с целью определения наиболее рационального типа землепользования.

Для биоиндикации среднего балла деградации пахотного и гумусо-аккумулятивного горизонтов чернозёма выщелоченного по показателям агроистощения (уменьшению содержания гумуса, обменного калия, подвижного фосфора и изменение кислотности почвы по сравнению с эталонной почвой) предлагается использовать комбинацию двух эмпирически выведенных

микробиологических показателей – удельную азотфиксирующую активность прокариот и активную микробную биомассу с акцентом на активную биомассу прокариот. По мере увеличения степени деградации почв удельная азотфиксационная активность закономерно падает, а вот изменения активной биомассы имеют волнообразный характер (видимо, она выступает как предшественник качественного изменения микробной системы). Из предложенных методов наиболее трудоемким и сложным в освоении является определение численности метаболически активных прокариот (FISH), однако он требуется только для уточнения степени деградации, тогда как общую ситуацию в основном можно описать при помощи наиболее простых и распространенных методов: газовой хроматографии и люминесцентной микроскопии (Чекин, 2024).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение эколого-экономической оценки деградации почв и земель на трех уровнях административно-хозяйственного устройства Пензенской области показало неоднородность деградационных процессов. В частности, величины удельного суммарного ущерба на всех трех уровнях организации в большей степени определяются характером, интенсивностью и распространенностью деградационных процессов в почвах, а не составом почвенного покрова (Макаров и др., 2023). При «движении» от уровня области в целом к уровню агрохозяйства происходит снижение величины удельного суммарного ущерба, однако, отмечается «выровненность» величин удельного суммарного ущерба от деградации почв и земель на всех уровнях их организации; вероятно, это указывает на ситуацию, когда агрохозяйство по интенсивности и масштабам проявления изучаемых деградационных процессов является «типичным» для муниципального района, а район по данным показателям является «типичным» для области в целом (Макаров и др., 2023). Несмотря на то, что проведенная оценка ущерба позволила определить степень выраженности деградационных процессов на разных уровнях и величину вреда, который нанесли эти процессы почвам и землям, очевидно, что рассчитанные величины ущерба являются лишь общим, интегральным выражением состояния почв и земель по исследуемым показателям (в основном — показателям их агроистощения) и экономических характеристик территорий (Макаров и др., 2023). Это в свою очередь говорит о недостаточности подхода к оценке деградации.

Применение адаптированной методики НБДЗ показало увеличение площади деградированных земель на всех уровнях сельскохозяйственного использования. То есть, стандартные установки, заложенные в платформу «Trends.Earth» и рекомендуемые КБО ООН для расчета нейтрального баланса деградации земель, недостаточно полно оценивают состояние земельных ресурсов. В систему корректировок стандартной методики НБДЗ помимо агрохимических показателей предлагается внести изменения в матрицу перехода динамики наземного покрова таким образом, чтобы показатель зарастания сельскохозяйственных земель

рассматривался как негативный фактор. С учетом предложенных корректировок методологию НБДЗ можно рекомендовать как интегрированную систему мониторинга деградационных процессов Пензенской области ((Макаров и др., 2021). Однако, для более полной картины необходимо совместное использование методик НБДЗ (адаптированный вариант) и оценки ущерба. Совместное использование двух методологий изучения деградации земель дает более полное представление о масштабах (сопоставление с эталонными почвами) и скорости (изучение показателей деградации в динамике) проявления деградационных процессов, которое можно использовать для разработки систем устойчивого землепользования в конкретных агрохозяйствах (Макаров и др., 2021). Кроме того, в обоих методиках на уровне области наблюдается тренд увеличения деградированных земель с северо-востока на юго-запад.

Проведенная экономическая оценка «действия» и «бездействия» (методика Й. фон Брауна) выявила экономическую оправданность инвестиций в восстановление продуктивности земель регионов на 20-летнем и горизонте планирования для Кузнецкого муниципального района и агрохозяйства «Трудовой путь», расположенного в этом районе. В восстановление продуктивности земель Пензенской области в целом (на том же горизонте планирования) такие инвестиции не оправданы (Строков и др., 2022). Особенностью полученных результатов является противоречие между целесообразностью восстановления земель для области в целом, с одной стороны, и для района и агрохозяйства, с другой стороны (Строков и др., 2022). Указанный факт может свидетельствовать о «нетипичности» процессов деградации земель в районе и в агрохозяйстве по сравнению с регионом в целом. Полученные результаты свидетельствуют о существенной неравномерности развития сельскохозяйственного производства на территории Пензенской области, в том числе тех его направлений, которые приводят к минимизации процессов деградации земель (Строков и др., 2022).

Важно понимать, что описываемые классические методологии эколого-экономической оценки деградации земель характеризуют состояние в разном

временном континууме. Если НБДЗ – это состояние земель в прошлом, то оценка ущерба от деградации показывает текущее состояние земельных ресурсов, а методика «действия» и «бездействия» (методика Й. фон Брауна) может прогнозировать и рекомендовать необходимость мероприятий по восстановлению в будущем (Крючков, 2022). Очевидна разница этих подходов, а также то, что только при комплексном применении данных методик можно получить репрезентативные данные. В дополнение к существующим методикам предлагается использовать микробиологическую индикацию от агроистощения почвы (Рис. 6.1).

Проведенные исследования показали возможность определения степени деградации почвы с помощью двух микробиологических показателей – удельной азотфиксирующей активностью прокариот и активной микробной биомассы прокариот. По мере увеличения степени деградации почв удельная азотфиксационная активность закономерно падает, а вот изменения активной биомассы имеют волнообразный характер, что делает этот показатель предвестником качественного изменения системы. Данные показатели просты в освоении и анализе и не требуют сложного и дорого оборудования. Несомненно, возможно и необходимо внедрение микробиологических показателей в существующие подходы эколого-экономической оценки. Это позволит не только более точно определять состояние земельных ресурсов в динамике и в настоящем, но и прогнозировать изменение экосистемы в будущем.

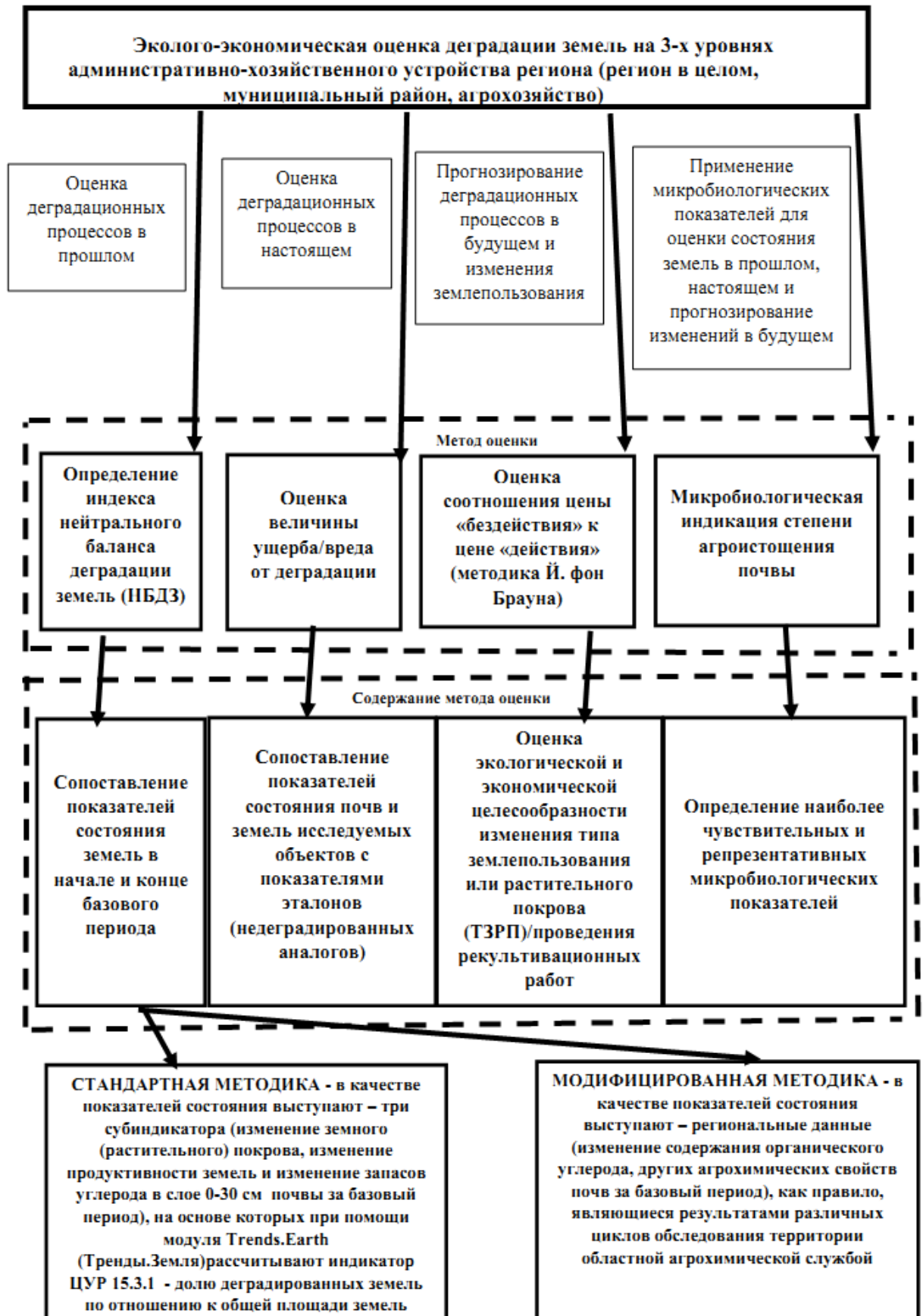


Рисунок 6.1. Методология эколого-экономической оценки деградации земель

ВЫВОДЫ

1. Высокие значения удельного ущерба/вреда от деградации (агроистощения) почв и земель Пензенской области (111 тыс. руб./га для региона в целом, 124 тыс. руб./га для Кузнецкого муниципального района, 132 тыс. руб./га для агрохозяйства «Трудовой путь», 70 тыс. руб./га для агрохозяйства «Евлашевское») свидетельствуют о значительных экономических потерях региона в результате интенсивной сельскохозяйственной деятельности и говорят о необходимости проведения рекультивации деградированных земель.
2. На основании стандартных установок, заложенных в платформу «Trends.Earth», доля деградированных земель для расчета нейтрального баланса деградации земель за период 2000-2010 гг. в Пензенской области в целом составила 10,22% (индекс НБДЗ – «+60,48%»), в Кузнецком муниципальном районе – 9,92% (индекс НБДЗ – «+67,22»), в агрохозяйствах «Евлашевское» и «Трудовой Путь» – соответственно 4,7% (индекс НБДЗ – «+71,7%») и 2,4% (индекс НБДЗ – «+81,8»). Добавление показателей содержания гумуса, обменного калия, подвижного фосфора и кислотности в почвах существенно повышает по сравнению со стандартной методикой долю деградированных земель.
3. Оценка «действия»/ «бездействия» выявила экономическую оправданность инвестиций в восстановление продуктивности земель на 20-летнем горизонте планирования для Кузнецкого муниципального района и агрохозяйства «Трудовой путь», расположенного в этом районе. В восстановление продуктивности земель Пензенской области в целом (на том же горизонте планирования) такие инвестиции не оправданы.
4. Показана принципиальная возможность оценивать степень деградации по состоянию почвенного микробного сообщества. Для биоиндикации средней степени деградации пахотного и гумусо-аккумулятивного горизонтов чернозёма выщелоченного по показателям агроистощения предлагается использовать комбинацию микробиологических показателей – удельную азотфиксацию и

активную микробную биомассу прокариот. По мере увеличения степени деградации почв активность азотфиксации закономерно падает, а изменения активной биомассы имеют волнообразный характер. Данные показатели можно использовать в методике оценки «действия»/ «бездействия» для определения оптимального типа землепользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьева Н. Д., Сусьян Е. А., Гавриленко Е. Г. Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. – 2011. – №. 11. – С. 1327-1333.
2. Атлас Пензенской области. - М.: ГУГК, 2020.
3. Бобылев С. Н., Кудрявцева О. В., Соловьева С. В. Индикаторы устойчивого развития для городов // Экономика региона. – 2014. – №. 3. – С. 101-110.
4. Бобылев С. Н., Порфирьев Б. Н. Устойчивое развитие крупнейших городов и мегаполисов: фактор экосистемных услуг // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. – 2016. – №. 6. – С. 3-21.
5. Бондаренко Е. В. Опыт учета экосистемных сервисов почв при оценке деградации земель (на примере УО ПЭЦ МГУ) / Е. В. Бондаренко. – дис. ... канд.б. наук - МГУ им. М.В.Ломоносова, 2016. – 121 с.
6. Воробьев Н.И., Проваров Н.А., Свиридова О.В., Пищик В.Н., Семенов А.М, Никонов И.Н. Фрактально-таксономический портрет и индекс сетевой организации почвенный микробных сообществ // Мат-лы Всерос. симпоз. с международ. участием "Современные проблемы физиологии, экологии и биотехнологии микроорганизмов". М., МГУ им. М.В. Ломоносова, Биол. факультет, 2014. М.: Макс- Пресс, 2014. С. 55.
7. Глава 5. Методика "действия/бездействия" Й. Фон Брауна: "экономическая" оптимизация землепользования, учитывающая экосистемные сервисы / О. А. Макаров, С. В. Киселев, А. С. Строков [и др.] // "Справедливая" экономика землепользования : Учебное пособие / Под редакцией С.А. Шобы и О.А. Макарова. – Москва : ООО "МАКС Пресс", 2018. – С. 79-111. – EDN OUUZPF.
8. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ,

2018. 9 с.

9. ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1992. 8 с.

10. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. М.: Стандартиформ, 2011. 4 с.

11. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО, 1986

12. ГОСТ 26640-85. Земли. Термины и определения.

13. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Пензенской области в 2019 году» – Пенза, 2020 – 129 с.

14. Добровольский Г. В. Деграция и охрана почв / Г. В. Добровольский. – Москва: Изд-во МГУ, 2002. – 654 с.

15. Добровольский Г. В. Экология почв. Учение об экологических функциях почв / Г. В. Добровольский, Е. Д. Никитин. – Москва: Изд-во МГУ, 2012. – 413 с.

16. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. – 1991.

17. Звягинцев Д.Г Почва и микроорганизмы. М.: Изд- во МГУ, 1987. 256 с.

18. Звягинцев Д.Г, Бабьева ИЛ., Зенова ГМ Биология почв. Учеб-к. 3-е изд-е. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.

19. Иванов, А. Л., Ушачев, И. Г., Лачуга, Ю. Ф., Завалин, А. А., Захаренко, В. А., Ключах, В. А., Попов, В. Д. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России. – 2008.

20. Качинский Н.А. Физика почв / Н.А. Качинский. - М., 1965. - Т. 1. - С. 155-161.

21. Киселев С. В., Белугин А. Ю. Продовольственная безопасность России в условиях эмбарго // АПК: Экономика, управление. – 2017. – №. 5. – С. 66-73.
22. Китаёв Ю. А., Пак З. Ч., Рудая Ю. Н. Региональные аспекты продовольственной безопасности // Пространство экономики. 2013. №2-3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnye-aspekty-prodovolstvennoy-bezopasnosti-2> (дата обращения: 23.08.2022).
23. Комментарий к Федеральному закону от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ "Об охране окружающей среды" / М. В. Андросов, А. Л. Бажайкин, И. Ю. Бортник [и др.]. – Москва : Специально для системы ГАРАНТ, 2016. – 815 с. – EDN YTQOIN.
24. Конвенция О. О. Н. по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке // Сб. док. – 1994. – Т. 2. – С. 171-180.
25. Крючков Н.Р. Анализ деградации почв и земель сельскохозяйственного назначения субъекта Российской Федерации методами эколого-экономической оценки и моделирования эрозионных процессов (на примере Волгоградской области). Дисс... канд. биол. наук. 03.02.08, 03.02.13 / Н.Р. Крючков. М. – 2022. – 284 с.
26. Кузина Е.Е., Кузин Е.Н. / Почвоведение: учебное пособие – Пенза: РИО ПГСХА, 2016 – 209 с.
27. Куст Г. С., Андреева О. В., Зонн И. С. Деградация земель и устойчивое землепользование. Словарь-справочник // М.: Перо. – 2018. – Т. 107.;
28. Куст Г. С., Андреева О. В., Лобковский В. А. Нейтральный баланс деградации земель—новейший подход для принятия решений в области землепользования и земельной политики // Проблемы постсоветского пространства. – 2018. – Т. 5. – №. 4. – С. 369-389.
29. Лапа, В. В., Рак, М. В., Цыбулько, Н. Н., Касьянчик, С. А., Жабровская, Н. Ю., Серая, Т. М., Мезенцева, Е. Г. Плодородие почв и

эффективное применение удобрений: материалы Международной научно-практической конференции, Минск, 22–25 июня 2021 г. В 2 ч. Ч. 1/редкол.: ВВ Лапа [и др.].–Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2021.–242 с.–ISBN 978-985-7149-65-0.

30. Лысак, Л. В., Лапыгина, Е. В., Конова, И. А., Звягинцев, Д. Г. Численность и таксономический состав наночастиц бактерий в некоторых почвах России //Почвоведение. – 2010. – №. 7. – С. 819-824.

31. Макаров О. А., Строков, А. С., Цветнов, Е. В., Бондаренко, Е. В., Кубарев, Е. Н., Чистова, О. А., Ермияев, Я. Р. Апробация методики эколого-экономической оценки деградации земель // Агрехимический вестник. – 2017. – № 3. – С. 55-59. – EDN YSDLPD.

32. Макаров О.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Чекин М.Р. Совмещенная оценка нейтрального баланса деградации земель и их эколого-экономического ущерба (на примере агрохозяйств Пензенской области) // Проблемы агрохимии и экологии. — 2021. — № 3-4. — С. 79–86.

33. Макаров, О. А., Абдулханова, Д. Р., Карпова, Д. В., Красильникова, В. С., Марахова, Н. А., Крючков, Н. Р., Чекин М. Р. Оценка ущерба от деградации почв и земель на трех иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства Российской Федерации: субъектов, муниципальных образований и агрохозяйств // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. — 2023. — Т. 78, № 2. — С. 86–93.

34. Макаров, О. А., Марахова, Н. А., Красильникова, В. С., Крючков, Н. Р., Чекин, М. Р., Абдулханова, Д. Р. Опыт оценки ущерба от деградации почв и земель муниципальных образований Российской Федерации //Земледелие. – 2022. – №. 4. – С. 3-7.

35. Макаров, О. А., Марахова, Н. А., Красильникова, В. С., Крючков, Н. Р., Чекин, М. Р., Абдулханова, Д. Р. Опыт эколого-экономической оценки деградации земель агрохозяйств, расположенных в различных субъектах Российской Федерации. // Использование и охрана природных ресурсов в

России. — 2022. — № 2. — С. 116–120.

36. Макаров, О. А., Строков, А. С., Цветнов, Е. В., Кубарев, Е. Н., Абдулханова, Д. Р., Куделин, В. Н., Марахова, Н. А. Экономическая оценка действия и бездействия по отношению к деградированным землям в Белгородской области // Земледелие. – 2018. – № 7. – С. 3-5. – DOI 10.24411/0044-3913-2018-10701. – EDN PMFGRT.

37. Макаров, О. А., Цветнов, Е. В., Цветнова, О. Б., Марахова, Н. А., Чекин, М. Р., Кубарев, Е. Н., Абдулханова, Д. Р. Опыт оценки нейтрального баланса деградации земель Приволжского федерального округа (на примере Пензенской области) // Агрехимический вестник. — 2021. — № 5. — С. 8–11.

38. Макаров, О. А., Яковлев, А. С., Строков, А. С., Цветнов, Е. В., Ермияев, Я. Р. Методология эколого-экономической оценки деградации земель на различных иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства России // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2017. – № 3(151). – С. 29-36. – EDN YMNKAO.

39. Манучарова Н. А. Идентификация метаболически активных клеток прокариот в почвах с применением молекулярно-биологического флюоресцентно-микроскопического метода анализа fluorescence in situ hybridization (FISH) // Университет и школа. – 2008. – С. 24.

40. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» (Утверждена приказом Минприроды России от 8 июля 2010 № 238)

41. Методика исчисления размера ущерба, вызванного захламлением, загрязнением и деградацией земель на территории Москвы» (Утверждена Постановлением Правительства Москвы от 22 июля 2008 г. № 589-ПП) –

42. Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель [утв. приказом Роскомзема и Минприроды России от 17.07.1994 г.]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9014048>. Дата обращения: 07.10.2021.

43. Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель: [методика: утверждена Минприроды России и Роскомземом в июле 1994 г]. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9014048>

44. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель: утв. Роскомземом от 28.12.1994, Минсельхозпродом России от 26.01.1995, Минприроды России от 15.01.1995. – Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

45. Минеев В.Г, Сычев В.Г., Амелянчик О.А., Большева Т.Н., Гомонова Н.Ф., Дурынина Е.П., Егоров В.С., Егорова Е.В., Едемская Н.Л., Карпова Е.А., Прижукова В.Г. Практикум по агрохимии: Учеб. Пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. Академика РАСХН Минеева В.Г. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.

46. Мониторинг состояния продовольственной безопасности России в 2014-2016 гг. / А.М. Никулин, И.В. Троцук, Н.И. Шагайда, Е.А. Шишкина, В.Я. Узун. Институт прикладных экономических исследований РАНХиГС. М.: Изд-во "Дело", 2018. 94 с.

47. Новиков В. В., Степанов А. Л., Поздняков А. И. Микробная трансформация метана, диоксида углерода и закиси азота в окультуренных торфяных почвах //Тексты докладов публикуются в авторской редакции. – 2010. – С. 214.

48. Оловянный Д. Г. Методика оценки состояния продовольственной безопасности региона на примере Республики Бурятия //Известия Байкальского государственного университета. – 2009. – №. 3. – С. 60-63.;

49. Опыт оценки ущерба от деградации почв и земель муниципальных образований Российской Федерации / О. А. Макаров, Н. А. Марахова, В. С. Красильникова и др. // Земледелие. — 2022. — № 4. — С. 3–7.

50. Охрана почв и земель: коллективная монография / А. С. Яковлев,

О. А. Макаров, Н. Г. Рыбальский [и др.]; Редакторы: А.С. Яковлев, О.А. Макаров, Н.Г. Рыбальский. – Москва: НИА-Природа, 2015. – 550 с.

51. Охрана почв: коллективная монография. — М.: РЭФИА Минприроды России, 1996. — 241 с.

52. Пензастат. URL: <https://pnz.gks.ru/storage/mediabank/cx17.xls> (дата обращения: 20.08.2021).

53. Пензенская область 2019 в цифрах. Статистический справочник. / Пензастат, 2020. - 87 с.

54. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. – Утвержден Минприроды России и Роскомземом от 27 декабря 1993 г., 1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9033369> (дата обращения: 11.11.2022). – Текст: электронный.

55. Приказ Министерства государственного имущества Пензенской области от 8 июня 2022 года N 202-пр «Об утверждении среднего уровня кадастровой стоимости земельных участков категории «Земли сельскохозяйственного назначения», расположенных на территории Пензенской области», 2022

56. Проблемы экономической безопасности регионов Западного порубежья России / под ред. проф. Г.М. Федорова. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2019. 267 с.

57. Рациональные нормы потребления пищевых продуктов. / URL: <https://www.rosminzdrav.ru/opendata/7707778246-normpotrebproduct/visual> (дата обращения: 15.08.2021)

58. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. 2020: Стат. сб. / Росстат. - М., 2020. - 766 с.

59. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2020: Стат. сб. / Росстат. - М., 2020. - С. 816.

60. Роль России в обеспечении продовольственной безопасности стран Центральной Азии / Е.В. Цветнов, Р.А. Ромашкин, А.Ю. Белугин и др. // АПК: экономика, управление. - 2019. - №7. - С. 84-94.

61. Романенко, И. А., Сиптиц, С. О., Евдокимова, Н. Е., Соболев, О. С., Колосков, В. С. Влияние госрегулирования на агропродовольственные рынки: анализ и прогноз. – 2013.
62. Российский статистический ежегодник. 2020: Стат.сб./Росстат. - М., 2020 - 700 с.
63. Росстат. Базы данных показателей муниципальных образований. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/>(дата обращения: 20.08.2021).
64. Руководство по практикам устойчивого управления земельными ресурсами в Центральной Азии в условиях климатических изменений / Под ред. С.А. Шобы, Р.Ч. Шармы, О.А. Макарова. – Москва-Ташкент: Издательство Буки Веди, 2023 – 208 стр.
65. Савич В. И. и др. Оценка почв //Астана. – 2003. – Т. 3003. – №. 544. – С. 23.
66. Сельское хозяйство и балансы продовольственных ресурсов / Федеральная служба государственной статистики. URL: https://www.gks.ru/enterprise_economy (дата обращения: 20.05.2021).
67. Семенов А.М Законы микробной экологии. Практическая значимость теоретических исследований // Мат-лы Всерос. симп. с международ. участи- ем "Современные проблемы физиологии, экологии и биотехнологии микроорганизмов". К 125- и к 120-летию со дня рожд. акад. В.Н. Шапошникова и проф. Е.Е. Успенского. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. Биол. факультет. 24-27.12.2009 г. М.: МАКС Пресс, 2009. С. 165.
68. Семенов А.М Здоровье почвы: характеристика содержания и методы количественного определения // Мат-лы VIII Москов. международ. конгр. "Биотехнология: состояние и перспективы развития". Ч. 2. М., 2015. С. 205.
69. Семенов А.М Концепции микробной экологии о пространственно-временной динамике микробных популяций в почве // Мат-лы Всерос. научн. конф. "Биосферные функции почвенного покрова", посвящ. 40-летию Института физ.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН.

8-12.11.2010 г. Пушкино: Synchronobook, 2010. С. 278-279.

70. Семенов А.М. Осцилляции микробных сообществ в почвах // Тр. Всерос. конф. к 100-летию со дня рождения акад. Е.Н. Мищустина. М.: МАКС Пресс, 2001. С. 57-72.

71. Семенов А.М. Трофическое группирование и динамика развития микробных сообществ в почве и ризосфере: Дис... д-ра биол. наук в виде научн. докл. М.: МАКС Пресс, 2005. 66 с.

72. Семенов А.М., Ван Бругген А.Х.К. К методу определения параметра здоровья почвы // АГРО XXI. 2011. № 1- 3. С. 8-10.

73. Семенов А.М., Семенов В.М., Ван Бругген А.Х.К. Диагностика здоровья и качества почвы // Агрехимия. 2011. № 12. С. 4- 20.

74. Семенов М. В., Манучарова Н. А., Степанов А. Л. Распределение метаболически активных представителей прокариот (архей и бактерий) по профилям чернозема и бурой полупустынной почвы // Почвоведение. – 2016. – №. 2. – С. 239-248.

75. Соколов М С., Марченко А.И., Санин С.С., Торопова Е.Ю., Чулкина В.А., Захаров А.Ф. Здоровье почвы агроценозов как атрибут ее качества и устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам // Изв. ТСХА. 2009. № 1. С. 13-22.

76. Соколов МС., Глинушкин А.П., Торопова Е.Ю. Средообразующие функции здоровой почвы - фито- санитарные и социальные аспекты // Агрехимия. 2015. № 8. С. 81-94.

77. Соколов МС., Дородных Ю.Л., Марченко А.И. Здоровая почва как необходимое условие жизни человека // Почвоведение. 2010. № 7. С. 858-866.

78. Соколов МС., Марченко А.И. Здоровая почва как основа благополучия России // Агрехимия. 2011. № 6. С. 3-10.

79. Стратегия социальноэкономического развития Пензенской области. Проект 2035. URL: <https://pnzreg.ru/project-office/projects/strategiya-razvitiya-penzenskoj-oblasti-do-2035-goda-1/57883/>(дата обращения: 15.09.2021).

80. Строков А.С., Макаров О.А., Чекин М. Р. Апробация концепции экономики деградации земель (на примере Пензенской области) // *Агрохимический вестник*. — 2022. — № 5. — С. 93–96.

81. Указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. №20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации», URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/>. Дата обращения: 07.10.2022.

82. Федеральный закон Российской Федерации от 10 января 2002 года N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», 2002.

83. Цветнов Е. В., Цветнова, О. Б., Макаров, О. А., Марахова, Н. А. Проблемы оценки нейтрального баланса деградации земель на уровне региона Российской Федерации // *Земледелие*. – 2020. – № 2. – С. 3-6. – DOI 10.24411/0044-3913-2020-10201. – EDN NYZEYU.

84. Чекин М.Р. Опыт микробиологической индикации агроистощения чернозема выщелоченного // *Агрохимический вестник*. — 2024. — № 1. — С. 88–94.

85. Черкасова, О. В., Строков, А. С., Цветков, Е. В., Макаров, О. А., Чекин, М. Р. Особенности оценки продовольственной безопасности муниципальных образований Пензенской области // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. — 2021. — № 12. — С. 36–43.

86. Черкасова, О. В., Строков, А. С., Цветнов, Е. В., Карпова, Д. В., Беляева, М. В., Чекин, М. Р., Марахова, Н. А. Вопросы оценки продовольственной безопасности в Российской Федерации // *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение*. – 2023. – №. 2. – С. 117-127.

87. Эколого-экономическая оценка деградации земель / А. С. Яковлев, О. А. Макаров, С. В. Киселев и др. — МАКС Пресс Москва, 2016. — 256 с.

88. Экономика деградации земель и продовольственная

безопасность регионов России/Под редакцией О.А. Макарова / О. А. Макаров, Д. Р. Абдулханова, А. С. Балджиев и др. — Москва: ООО МАКС Пресс, 2022. — 320 с.

89. Элмер Н.Р., Семенов А.М, Зеленев В.В., Зинякова Н.Б., Костина Н.В., Голиченков М.В. Ежесуточная динамика численности и активности азотфиксирующих бактерий на участках залежной и интенсивно возделываемой почвы // Почвоведение. 2014. № 8. С. 963-970.

90. Эмер Н. Р., Костина, Н. В., Голиченков, М. В., Нетрусов, А. И. Динамика активности денитрификации и аммонификации в залежной и интенсивно возделываемой серой лесной почве (Тульская область) //Почвоведение. – 2017. – №. 4. – С. 449-456.

91. Яковлев А. С., Никулина Ю. Г. Экологическое нормирование допустимого остаточного содержания нефти в почвах земель разного хозяйственного назначения //Почвоведение. – 2013. – №. 2. – С. 234-234.

92. Яковлев, А. С., Молчанов, Э. Н., Макаров, О. А., Савин, И. Ю., Красильников, П. В., Чуков, С. Н., Евдокимова, М. В. Научно-правовые аспекты экологической оценки и контроля деградации почв и земель России на основе характеристики их экологических функций //Почвоведение. – 2015. – №. 9. – С. 1124-1124.

93. Ahmadi Dehrashid, A., Bijani, M., Valizadeh, N., Ahmadi Dehrashid, H., Nasrollahizadeh, B., & Mohammadi, A. Food security assessment in rural areas: evidence from Iran //Agriculture & food security. – 2021. – V. 10. – №. 1. – P. 17.

94. Amann R. I., Ludwig W., Schleifer K. H. Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation //Microbiological reviews. – 1995. – V. 59. – №. 1. – P. 143-169.

95. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. № 3. P. 215-221.

96. Arias M.E., Gonzalez-Perez J.A., Gonzalez-Vila FJ., Ball A.S. Soil

health - a new challenge for microbiologists and chemists // *Inter. Microbiol.* 2005. V. 8. № 1. P. 13-21.

97. Arndt, C., Davies, R., Gabriel, S., Harris, L., Makrelov, K., Robinson, S., Anderson, L. Covid-19 lockdowns, income distribution, and food security: An analysis for South Africa // *Global food security.* – 2020. – V. 26. – P. 100- 410.

98. Battalova A. Food security as a component of economic security system of Russia // *Procedia Economics and Finance.* – 2015. – V. 27. – P. 235-239.

99. Beinroth, F. H., Eswaran, H., Reich, P. F., Van Den Berg, E. Land related stresses in agroecosystems // *Stressed ecosystems and sustainable agriculture.* – 1994.

100. Cherkasova, O. V., Stokov, A. S., Tsvetnov, E. V., Karpova, D. V., Belyaeva, M. V., Chekin, M. R., Marakhova, N. A. Issues of Food-Security Assessment in the Russian Federation // *Moscow University Soil Science Bulletin.* – 2023. – V. 78. – №. 2. – P. 177-186.

101. Cherkasova, O. V., Stokov, A. S., Tsvetnov, E. V., Karpova, D. V., Belyaeva, M. V., Chekin, M. R., Marakhova, N. A. Issues of Food-Security Assessment in the Russian Federation // *Moscow University Soil Science Bulletin.* – 2023. – V. 78. – №. 2. – P. 177-186.

102. Clark MS., Horwath WR., Shennan C., Scow K.M, Lanini WT, Ferris H Nitrogen, weeds and water as yield-limiting factors in conventional, low-input, and organic tomato systems // *Agric. Ecosyst. Environ.* 1999. V. 73. P. 257- 270.

103. Cowie, A. L., Orr, B. J., Sanchez, V. M. C., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A., ... & Welton, S. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality // *Environmental Science & Policy.* – 2018. – V. 79. – P. 25-35.

104. Demoling F, Figueroa D., Baath E. Comparison of factors limiting growth in different soils // *Soil Biol. Biochem.* 2007. V. 39. P. 2485-2495.

105. Doran J. W, Sarrantonio M, Lieblg MA. Soil health and sustainability // *Adv. Agronom.* 1996. V. 56. P. 1-54.

106. Doran J.W, Zeiss MR. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality // *Appl. Soil Ecol.* 2000. V. 15. P. 3-11.
107. Eswaran H., Lal R., Reich P. F. Land degradation: an overview // *Response to land degradation.* – 2019. – P. 20-35.
108. Fauci MF, Dick R.P. Soil microbial dynamics short- and long-term effects of inorganic and organic nitrogen // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1994. V. 58. P. 801-806.
109. Ferris H., Tuomisto H. Unearthing the role of biological diversity in soil health // *Soil Biol. Biochem.* 2015. V. 85. P. 101-109.
110. Franzluebbers A.J., Hons FM, Zuberer D.A. Soil organic carbon, microbial biomass and mineralisable carbon and nitrogen in sorghum // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1995. V. 59. P. 460-466.
111. Fredriksson L., Rizov M., Davidova S., Bailey A. Smallholder Farms in Bulgaria and Their Contributions to Food and Social Security // *Sustainability.* – 2021. – V. 13. – Issue 14. – Article No.: 7635. – doi.org/10.3390/su13147635.
112. Gebreselassie, S., Kirui, O. K., & Mirzabaev, A. Economics of land degradation and improvement in Ethiopia // *Economics of land degradation and improvement—a global assessment for sustainable development.* – 2016. – P. 401-430.
113. Gubarkov S. V., Zhupley I. V., Tretyak N. A. Food independence as key component of food security of the Far eastern federal district // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* – IOP Publishing, 2021. – V. 666. – № 5. – P. 42-52.).
114. IFPRI. 2021 Global Food Policy Report: Transforming Food Systems after COVID-19. – 2021.
115. Karlen D.L., Andrews S.S., Wienhold B.J., Zobeck TM Soil quality assessment: past, present and future // *J. Integr. Biosci.* 2008. V. 6. P. 3- 14.
116. Karlen D.L., Andrews S.S., Wienhold B.J., Zobeck TM Soil quality assessment: past, present and future // *Electr. J. Integrat. Biosci.* 2008. V. 6. № 1. P. 3-14.
117. Karlen D.L., Ditzler C.A., Andrews S.S. Soil quality: why and how?

// Geoderma. 2003. V. 114. № 3-4. P. 145-156.

118. Karlen D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F., Schuman G.E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation // Soil Sci. Soc. Am. J. 1997. V. 61. P. 4-10.

119. Krasilnikov P., Taboada M. A., Amanullah. Fertilizer use, soil health and agricultural sustainability // AGRICULTURE-BASEL. — 2022. — Vol. 12, no. 4. — P. 462.

120. Kust G. Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment / G. Kust, O. Andreeva, A. Cowie // Journal of Environmental Management. – 2017. – Vol. 195. – P. 16-24.

121. Kust G., Andreeva O., Lobkovskiy V., Telnova N. Uncertainties and policy challenges in implementing Land Degradation Neutrality in Russia // Environmental Science and Policy. – 2018. – V. 89. – P. 348–356. – doi: 10.1016/j.envsci.2018.08.010.

122. Kust G.S. Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment // Journal of environmental management. – 2017. – V. 195. – № Pt 1. – P. 16–24.

123. Lal R. et al. Soil erosion research methods. – CRC Press, 1994.

124. Lal R. Food security in a changing climate // Ecohydrology & Hydrobiology. – 2013. – V. 13. – №. 1. – P. 8-21.

125. Lal R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation / R. Lal // Sustainability (Switzerland). – 2015. – Vol. 7. – № 5. – P. 5875-5895.

126. Lal R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation // Sustainability. – 2015. – T. 7. – №. 5. – C. 5875-5895.

127. Lavahun MFE., Joergensen R.G., Meyer B. Activity and biomass of soil microorganisms at different depths // Biol. Fertil. Soils. 1996. V. 23. P. 38-42.

128. Li R., Khafipour E., Krause D.O., Entz M.H., Kievit T.R., Dilantha Fernando W G. Pyrosequencing reveals the influence of organic and conventional farming systems on bacterial communities // PLoS One. 2012. V. 7. № 12. e51897. doi: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0051897>.

129. Lieblg M.A., Doran J.W., Gardner J.C. Evaluation of a field test kit

for measuring selected soil quality indicators // *Agronom. J.* 1996. V. 88. № 4. P. 683- 686.

130. Lumb M. Land Degradation Land Degradation / M. Lumb. – 1994. – 1-5 p.

131. Makarov, O. A., Abdulkhanova, D. R., Karpova, D. V., Krasilnikova, V. S., Marakhova, N. A., Kryuchkov, N. R., Chekin, M. R., Baldjiev, A. S. Assessment of Damage from Soil and Land Degradation at Three Hierarchical Levels of the Administrative and Economic Structure of the Russian Federation: Subjects, Municipalities, and Agricultural Farms // *Moscow University Soil Science Bulletin.* – 2023. – V. 78. – №. 2. – P. 149-155.

132. Makarov, O. A., Stokov, A. S., Tsvetnov, E. V., Marakhova, N. A., Krasilnikova, V. S., Kriuchkov, N. R., Chekin, M. R. Experience in Ecological and Economic Assessment of Land Degradation in Regions of the Russian Federation // *Moscow University Soil Science Bulletin.* – 2022. – V. 77. – №. 5. – P. 317-324.

133. McBratney, A. B., Field, D. J., Morgan, C. L., & Jarrett, L. E. Soil security: A rationale // *Global soil security.* – 2017. – P. 3-14.

134. Nations U. The Sustainable Development Goals 2016. – eSocialSciences, 2016.

135. Nkempi L., Herman D.N., Mubeteneh T.C., Nkengafac N.J. Analysis of Small Scale Farmers Households Food Security in the Mount Bamboutos Ecosystem // *Journal of Food Security.* – 2021. – V. 9 – №2. – P. 56-61. doi.org/10.12691/jfs-9-2-3.

136. Nkonya E., Mirzabaev A., von Braun J. Economics of land degradation and improvement: an introduction and overview // *Economics of land degradation and improvement—a global assessment for sustainable development.* – 2016. – P. 1-14.

137. Nkonya, E., Gerber, N., Baumgartner, P., von Braun, J., De Pinto, A., Graw, V., Walter, T. The economics of desertification, land degradation, and drought toward an integrated global assessment // *ZEF-Discussion Papers on Development Policy.* – 2011. – №. 150.

138. Nkonya, E., Gerber, N., von Braun, J., De Pinto, A. Economics of land degradation //IFPRI issue brief. – 2011. – V. 68.
139. Oldeman L. R. Soil degradation: a threat to food security. – 1998.
140. Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification //Hydrology and earth system sciences. – 2007. – T. 11. – №. 5. – C. 1633-1644.
141. Pérez-Escamilla R., Segall-Corrêa A.M. Food insecurity measurement and indicators Rev. Nutr., Campinas, 21(Suplemento). Jul/ago., 2008. P. 15-26.
142. Potschin M. B. Ecosystem services / M. B. Potschin, R. H. Haines-Young // Progress in Physical Geography: Earth and Environment. – 2011. – Vol. 35. – № 5. – P. 575-594.
143. Sarrantonio M, Doran J.W, Lieblg M.A., Halvorson J.J. On-farm assessment of soil quality and health // Methods for assessing soil quality / Eds Doran J.W., Jones A.J. Madison: Soil Sci. Soc. Am., 1996. V. 49. P. 83-105.
144. Segall-Corrêa A.M., Marin-León L., Melgar-Quiñonez H., Pérez-Escamilla R. Refinement of the Brazilian Household Food Insecurity Measurement Scale: Recommendation for a 14-item EBIA. DOI: 10.1590/1415-52732014000200010
145. Semenov A.M Physiological bases of oligotrophy of microorganisms and concept of microbial community // Microb. Eco. 1991. V. 22. P. 239-247.
146. Semenov, A. M., Sokolov, M. S., Glinushkin, A. P., & Glazko, V. I. The health of soil ecosystem as self-maintenance and sustainable bioproductivity review article //Acta phytopathologica et entomologica hungarica. – 2017. – Vol. 52. – №. 1. – P. 69-81.
147. The economics of land degradation / J. Von Braun, N. Gerber, A. Mirzabaev, E. Nkonya. – Bonn, 2013.
148. The total costs of soil degradation in England and Wales / A. R. Graves, J. Morris, L. K. Deeks et al. // Ecological Economics. – 2015. – Vol. 119. – P. 399-413.
149. Trends.Earth.20.11.2019. – Электрон. дан. – URL:

<http://trends.earth/docs/en/>.

150. UNCCD. Achieving Land Degradation Neutrality at the country level / UNCCD. – 2016. – 32 p.

151. United Nations Convention to Combat Desertification (Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием) [Электронный ресурс]. URL: <https://knowledge.unccd.int/ldn/aboutldn> (дата обращения: 10.09.2022).

152. Uzun V., Shagaida N., Lerman Z. Russian agriculture: Growth and institutional challenges // *Land Use Policy*. – 2019. – V. 83. – P. 475–487. – doi: 10.1016/j.landusepol.2019.02.018.

153. Uzun, V., Saraikin, V., Gataulina, E., Shagayda, N., Yanbykh, R., Paloma, S. G. Prospects of the farming sector and rural development in view of food security: The case of the Russian Federation. – Joint Research Centre (Seville site), 2014. – №. JRC85162.

154. Van Bruggen A.H.C., Semenov A.M In search of Biological indicators for soil health and disease suppression // *Appl. Soil Ecol.* 2000. V. 15. P. 13-24.

155. Van Bruggen A.H.C., Semenov A.M, Van Diepenin- gen A.D., de Vos O.J., Blok WJ. Relation between soil health, wave-like fluctuations in microbial populations, and soil-borne plant disease management // *Europ. J. Plant Pathol.* 2006. V. 115. P. 105- 122.

156. Van Bruggen A.H.C., Semenov A.M, Van Diepenin- gen A.D., de Vos O.J., Blok WJ. Relation between soil health, wave-like fluctuations in microbial populations, and soil-borne plant disease management // *Europ. J. Plant Pathol.* 2006. V. 115. P. 105- 122.

157. von Braun J., Gerber N. The economics of land and soil degradation-toward an assessment of the costs of inaction // *Recarbonization of the Biosphere: Ecosystems and the Global Carbon Cycle*. – 2012. – P. 493-516.;

158. von Braun, J., Gerber, N., Mirzabaev, A., Nkonya, E. The economics of land degradation. – 2013.

159. World Health Organization et al. The state of food security and nutrition in the world 2020: transforming food systems for affordable healthy diets.

– Food & Agriculture Org., 2020. – V. 2020.

160. Zornoza R., Mataix-Solera J., Guerrero C., Arcenegui V, Garcia-Orenes F, Mataix-Beneyto J., Morugan A. Evaluation of soil quality using multiple lineal regression based on physical, chemical and Biochemical properties // Sci. Total Environ. 2007. V. 378. № 1-2. P. 233-237.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Результаты агрохимического обследования почв агрохозяйств «Трудовой путь» и «Евлашевское», проводимого ФГБУ ГЦАС «Пензенский», 2020 год обследования

Вектор. участки	Площадь участка, га	Фосфор, мг/100 г почвы	Калий, мг/100 г почвы	pH (КСД)	Гумус, %
«Евлашевское»					
1554	86	6,43	7,38	5,85	1,4
1555	9	7,20	6,50	5,20	4,8
1556	47	12,25	6,00	5,15	4,9
1557	148	9,36	10,21	4,67	3,6
1561	165	4,09	8,44	4,89	4,2
1562	140	4,17	13,14	5,19	5,1
1563	48	5,25	19,50	4,90	4,2
1564	13	3,70	15,00	5,10	4,3
1565	32	5,30	10,00	4,80	5
1566	27	15,00	11,00	5,80	4,3
1567	34	2,00	18,50	5,15	2,6
1568	15	1,00	16,00	4,70	1,7
1569	18	1,50	10,00	5,00	2,6
1570	44	1,25	8,50	4,95	2,6
1571	4	1,00	30,00	5,20	3,1
1573	10	1,50	15,00	5,30	3,1
1574	33	0,50	9,00	5,00	3,3
1575	7	2,00	37,00	5,10	5,1
1576	35	2,25	13,00	4,85	4
1577	54	8,87	11,33	5,40	2,4
1578	35	3,40	8,75	4,75	1
1580	136	3,17	7,50	4,43	3,2
1581	126	3,63	10,42	4,82	3,6
1582	37	5,50	8,00	4,75	4,2
1583	105	3,80	11,40	4,76	4
1584	35	6,55	10,50	4,55	3,9
1585	89	14,50	8,50	5,25	3,9
1592	51	8,67	9,00	5,17	2,3
1593	12	70,50	53,00	6,50	3,8
1599	90	14,38	23,70	5,54	2,3
1595	96	1,10	5,70	4,02	3,3
1596	17	1,50	11,00	4,30	1,4
1597	179	2,47	14,94	4,42	1,7
1598	171	13,46	15,00	5,05	4,7
1600	34	4,70	14,00	5,20	2
1601	170	10,29	14,50	5,14	5,5
1603	46	10,05	11,00	4,50	6,2
1604	149	18,35	19,06	4,71	5,8

Вектор. участки	Площадь участка, га	Фосфор, мг/100 г почвы	Калий, мг/100 г почвы	pH (КСД)	Гумус, %
1605	194	7,93	15,75	4,93	6,8
1607	14	2,50	10,00	4,90	2,5
1609	27	1,00	8,00	4,90	2,4
1610	25	1,00	6,00	5,00	2
1611	9	1,50	7,00	5,00	2,1
1613	40	2,50	19,00	4,90	3,6
1614	57	4,50	7,67	4,60	3,4
1615	51	16,33	10,17	4,57	3,7
1616	70	7,83	9,50	4,75	5,4
1617	89	25,25	11,25	4,85	6
1618	65	32,63	11,00	4,90	5,7
1619	74	5,40	16,63	5,15	6,2
1620	28	6,30	14,00	5,20	3,6
1621	11	3,70	13,00	5,20	3,8
1622	47	6,90	11,50	5,50	4,5
1623	135	7,78	12,67	5,20	4,1
1624	88	8,78	13,50	5,18	3,5
1628	73	4,65	13,00	4,95	4
1629	12	2,00	8,50	4,90	3,1
1630	206	6,52	26,00	5,09	4,6
1631	205	7,36	13,09	4,94	3,5
1632	120	13,18	18,75	5,27	5,8
1633	60	26,20	10,00	5,80	4,3
1634	159	9,73	23,88	5,23	6,8
1635	163	5,15	16,50	5,05	6,4
1636	159	3,73	17,75	5,06	6,9
1637	91	5,46	14,80	5,26	5,9
1638	80	9,63	14,88	5,13	6,2
1639	65	15,43	22,50	5,10	5,4
1640	69	7,93	18,83	5,17	5,5
1641	73	5,20	13,50	5,00	6,1
1642	15	2,00	9,00	4,90	4,2
1643	59	1,33	7,50	5,00	3,9
1646	59	15,43	21,50	5,30	4,1
1647	147	14,32	27,08	5,10	3,8
1652	19	10,70	13,00	4,90	4,6
1653	180	34,60	40,75	5,63	4,2
1654	17	17,00	15,50	5,50	3,9
1657	14	12,80	13,50	4,90	4,4
1658	108	4,10	8,92	4,93	6,2
1659	115	5,77	17,42	4,72	5,3
1660	98	3,63	10,00	4,82	4,6
1661	88	18,07	14,67	5,23	5,7

Вектор. участки	Площадь участка, га	Фосфор, мг/100 г почвы	Калий, мг/100 г почвы	pH (КСД)	Гумус, %
1662	22	3,70	12,50	5,10	3,8
1663	132	20,88	12,83	5,20	4,3
1664	197	11,42	15,67	5,20	3,9
1666	24	9,70	13,00	5,00	4,8
1667	107	5,48	12,70	4,88	4,7
1668	12	3,70	10,00	4,70	2,9
1669	8	3,70	9,00	4,70	2,7
1670	111	62,62	74,80	5,96	5,9
1673	217	3,32	13,36	4,88	4,6
1674	157	4,48	12,13	5,10	5,8
1675	98	7,16	11,00	5,00	4,5
1676	217	7,98	12,35	5,05	6,6
1677	188	9,02	12,33	5,01	4,3
1678	89	6,70	13,75	4,98	4,3
1679	101	8,94	12,00	5,02	3,5
1680	135	1,54	15,36	4,83	3,1
1681	133	2,03	8,07	4,91	3,1
1682	10	2,50	7,50	5,30	2,5
1685	50	1,50	7,75	4,70	8,2
1686	48	1,50	23,25	4,95	4,8
1687	155	1,69	9,38	4,70	9
1688	27	76,50	11,50	4,80	7,2
1689	143	5,43	10,86	5,00	6
1690	169	3,91	11,79	4,69	3,9
1692	12	6,30	9,00	5,00	5,2
1694	13	2,00	10,00	4,90	5,3
1695	61	1,50	11,17	4,87	5,4
1698	73	3,15	16,25	5,08	4,8
1699	44	4,40	25,50	4,80	4,2
1700	41	3,40	11,00	5,00	4,6
1701	67	14,23	18,67	5,07	5,2
1702	64	7,37	13,67	5,07	4,4
1703	28	5,30	11,00	5,10	4,3
1704	9	4,80	16,50	5,50	4,5
1705	40	19,00	8,75	5,10	2,1
1706	14	5,30	9,00	5,20	1,5
1707	43	4,80	14,25	5,15	2,1
1708	31	17,50	9,00	5,10	3,6
1710	24	5,80	14,00	5,10	35
1711	22	1,50	16,00	5,30	3,1
1714	14	11,00	13,00	5,60	3,5
1715	7	26,50	11,00	5,60	3,7
1716	25	29,50	11,00	4,90	1,2

Вектор. участки	Площадь участка, га	Фосфор, мг/100 г почвы	Калий, мг/100 г почвы	pH (КСД)	Гумус, %
1717	88	7,30	10,13	4,85	3,2
1718	80	10,60	11,00	5,90	1,5
1720	22	10,00	8,00	5,40	4,4
1724	40	6,80	6,25	4,85	2,1
1726	45	2,00	9,50	4,85	4
1727	41	1,00	9,50	4,85	4,2
1728	19	2,00	11,00	4,80	6,2
1730	24	2,00	14,00	4,90	5,3
1731	73	1,88	7,75	4,65	4,9
1732	59	1,50	11,00	4,67	5,6
1734	66	2,33	10,33	5,03	3,4
1735	39	3,65	10,00	4,85	1,3
1736	70	3,40	7,00	5,25	4,4
1738	21	25,00	9,00	5,30	4,7
1739	122	11,25	10,50	4,90	4,7
1743	81	2,85	10,00	4,78	2,6
1749	20	1,70	10,00	4,70	1,7
1750	26	7,50	6,00	5,50	1,5
1751	29	6,00	18,00	5,30	2,2
1752	11	8,40	26,00	5,70	1,95
1753	20	2,20	41,00	5,00	3,6
1754	10	2,20	25,00	5,10	2,1
1755	27	1,00	8,00	4,80	4,6
1756	33	5,50	13,50	5,00	1,5
1758	1000	9,88	17,80	5,25	3,1
«Трудовой Путь»					
459	123	8,57	15,71	5,37	5
460	9	10,30	15,00	5,20	5,4
469	49	10,20	29,00	5,60	2,7
470	47	19,30	10,75	5,35	4,5
471	52	4,80	10,50	4,50	1
472	142	9,01	7,86	5,17	3,5
473	46	9,30	14,00	5,40	4,7
475	88	30,95	23,13	5,75	4,3
476	6	36,60	28,50	6,40	5,6
477	62	12,97	14,67	5,17	5,4
478	8	4,40	11,00	5,00	3,1
479	68	6,00	12,33	5,03	3,7
480	14	3,90	11,00	5,00	3,5
481	51	20,37	12,33	7,00	4,1
482	47	6,70	7,00	5,40	5,8
483	150	1,26	9,19	4,93	4,2
484	30	5,90	21,00	5,05	1,6

Вектор. участки	Площадь участка, га	Фосфор, мг/100 г почвы	Калий, мг/100 г почвы	pH (КСД)	Гумус, %
485	37	5,55	19,75	5,05	4,3
486	43	1,80	12,75	5,15	4,1
487	18	2,60	8,50	4,80	4,1
488	12	2,10	8,00	4,80	3,8
489	6	2,30	8,50	4,80	4,1
491	11	2,20	8,50	4,80	4,6
492	74	1,15	10,00	4,98	3,2
493	50	3,80	10,00	4,73	4,6
494	7	3,40	12,50	4,60	4,3
495	9	3,40	10,00	4,60	4,2
496	14	3,90	15,00	4,60	4
497	100	4,47	12,83	4,95	4,2
498	13	3,40	9,50	4,60	3,6
499	37	3,95	10,00	4,60	3,2
501	8	2,90	8,50	4,60	4,1
502	43	9,95	22,00	5,15	4,5
503	27	18,50	27,00	5,20	5,2
504	15	8,60	7,00	4,40	0,7
505	21	7,90	5,00	4,20	0,7
506	12	7,60	4,50	4,10	0,5
507	26	7,00	4,00	4,00	0,6
508	12	14,60	7,50	6,90	4,1
508	7	15,40	8,00	7,20	6,2
509	87	15,00	8,00	7,30	6,9
511	4	0,00	0,00	0,00	6,9
512	7	3,50	24,00	5,00	3,7
513	7	2,00	32,00	4,50	3
514	30	2,10	24,50	4,50	3,5
516	30	5,20	14,00	4,90	3,5
517	16	5,90	11,00	5,10	5
518	14	6,40	8,50	5,00	4,4
527	30	6,80	10,50	5,00	4,2
547	38	3,75	9,00	4,55	1,4
548	84	1,90	10,13	4,63	1,6
549	18	1,60	9,50	4,60	1,4
550	14	3,00	9,00	4,50	1,3
551	4	29,00	8,00	6,10	1,8
552	20	28,80	8,00	6,30	2
553	48	4,15	6,75	4,70	1,6
554	6	4,30	6,50	4,40	1,6
555	65	10,67	4,83	4,37	1,7
557	55	6,67	9,33	5,13	1,8
558	49	21,00	33,50	4,80	4,3

Вектор. участки	Площадь участка, га	Фосфор, мг/100 г почвы	Калий, мг/100 г почвы	pH (КСI)	Гумус, %
560	45	72,30	22,75	5,45	4,2
561	7	110,60	38,00	5,80	5,1
562	22	17,10	12,50	4,90	2,8
563	14	7,00	8,50	4,60	2,1
564	24	7,40	13,00	4,70	1,8
565	24	7,80	14,00	4,50	1,8
566	7	3,80	13,00	4,50	1,1
567	5	4,60	10,50	4,50	2
568	46	7,55	6,25	4,20	1,3
569	162	8,23	10,63	4,38	1,4
570	24	7,30	4,00	4,00	0,6
571	35	7,25	4,00	3,95	0,6
572	12	7,30	3,00	3,90	0,5
573	28	7,40	3,00	3,90	0,6
574	29	8,00	4,00	3,90	0,5
575	10	7,30	2,50	3,90	0,5
576	40	6,90	2,50	4,00	2,5
577	30	7,50	3,00	3,90	2,6
578	41	6,80	7,25	4,65	1,4
579	42	8,15	6,25	4,10	1,2
581	7	3,20	9,50	4,40	1,5
556	153	3,59	10,19	4,71	2,9

Таблица 2. Статистические показатели (мин.зн.-макс.зн./ср.зн.) по результатам агрохимического обследования территории, проводимого ФГБУ ГЦАС «Пензенский», 2020 год обследования

Агрохимические показатели	Метод измерения	«Трудовой путь» Статистические показатели интервал/среднее	«Евлашевское» Статистические показатели интервал/среднее
pH КСI	потенциометрический метод (ГОСТ 26483-85)	3,9 – 7,3 / 4,9	4,02 – 6,5 / 5,04
Содержание гумуса, %	по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-93)	0,5 – 6,9 / 3,01	1,0 – 35 / 4,27
Содержание обменного калия (K ₂ O), ppm	по Чирикову (ГОСТ 26204-91 в модификации ЦИНАО)	25 – 380 / 118,2	57 – 748 / 139,7
Содержание подвижного фосфора (P ₂ O ₅), ppm	по Чирикову (ГОСТ 26204-91 в модификации ЦИНАО)	11,5 – 1106 / 101,9	5 – 765 / 85,3

Таблица 3. Статистические показатели свойств агрохозяйств «Трудовой путь» и «Евлашевское» по результатам собственного обследования территории агрохозяйства, 2020 год обследования

Свойство	Метод измерения	Статистические показатели	Результат
рН Н ₂ О	потенциометрический метод (ГОСТ 26423-85)	мин.знач.	5,29
		макс.знач.	6,94
		среднее	6,26
		ст.откл.	0,30
		ошибка среднего	0,08
рН КСl	потенциометрический метод (ГОСТ 26483-85)	мин.знач.	4,77
		макс.знач.	6,47
		среднее	5,73
		ст.откл.	0,33
		ошибка среднего	0,11
Содержание гумуса, %	по Никитину с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель	мин.знач.	1,62
		макс.знач.	8,10
		среднее	4,71
		ст.откл.	0,83
		ошибка среднего	0,11
Плотность, г/см ³	по Качинскому	мин.знач.	1,33
		макс.знач.	1,46
		среднее	1,37
		ст.откл.	0,03
		ошибка среднего	0,01
Содержание обменного калия (К ₂ О), ppm	по Чирикову (ГОСТ 26204-91 в модификации ЦИНАО)	мин.знач.	87,00
		макс.знач.	1120,0
		среднее	370,64
		ст.откл.	49,34
		ошибка среднего	5,76
Содержание подвижного фосфора (Р ₂ О ₅), ppm	по Чирикову (ГОСТ 26204-91 в модификации ЦИНАО)	мин.знач.	38,2
		макс.знач.	265,0
		среднее	74,16
		ст.откл.	45,47
		ошибка среднего	6,46

Таблица 4. Распределение площади агрохозяйства «Трудовой путь» по степеням деградации

Степень деградации	Площадь, га			
	гумус	Р ₂ О ₅	К ₂ О	рН
0	151	529	703	331
1	173	62	531	308
2	965	386	886	679
3	1341	1571	783	673
4	397	479	124	1036

Таблица 5. Распределение площади агрохозяйства «Евлашевское» по степеням деградации

Степень деградации	Площадь, га			
	гумус	Р ₂ О ₅	К ₂ О	рН
0	2859	1649	5010	588
1	530	352	1797	416
2	3688	2370	2834	5673
3	3393	5097	1424	3906
4	803	1805	208	690

Результаты оценки ущерба муниципальных районов Пензенской области

Таблица 6. Результаты расчета ущерба от деградации земель Вадинского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
4	34800	200,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	24528000	24528,0	
3	34800	7900,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	864386400	864386,4	
2	34800	23200,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2078256000	2078256	
1	34800	17200,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1199596800	1199596,8	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	34800	8700,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	1066968000,0	1066968,0	
3	34800	42600,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	4661121600,0	4661121,6	
1	34800	5800,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	404515200,0	404515,2	
Изменение кислотности (рН КСl)									
4	34800	3 900,0	1	62 800,0	1,9	0,9	478296000,0	478296,0	
3	34800	43 400,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	4748654400,0	4748654,4	
2	34800	11 100,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	994338000,0	994338,0	
1	34800	1 300,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	90667200,0	90667,2	
Уменьшение содержания гумуса									
4	34800	600,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	73584000,0	73584,0	
2	34800	10 400,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	931632000,0	931632,0	
1	34800	36 300,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2531707200,0	2531707,2	
Общая величина ущерба, руб.							20148250800,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		94770,7

Таблица 7. Результаты расчета ущерба от деградации земель Городищенского района Пензенской области

Степень деградации и земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации	
	Нс, руб./га	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.
Уменьшение содержания обменного калия								
4	23000	400,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	40088000	40088,0
3	23000	14600,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	1335608000	1335608
2	23000	28500,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2233545000	2233545
1	23000	16900,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1102894000	1102894
Уменьшение содержания подвижного фосфора								
4	23000	6400,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	641408000,0	641408,0
3	23000	51000,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	4665480000,0	4665480,0
1	23000	4000,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	261040000,0	261040,0
Изменение кислотности (рН КСl)								
4	23000	9 500,0	1	62 800,0	1,9	0,9	952090000,0	952090,0
3	23000	38 700,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	3540276000,0	3540276,0
2	23000	13 100,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	1026647000,0	1026647,0
1	23000	2 400,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	156624000,0	156624,0
Уменьшение содержания гумуса								
4	23000	16 400,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	1643608000,0	1643608,0
2	23000	28 900,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2264893000,0	2264893,0
Общая величина ущерба, руб.							19864201000,0	
				Ущерб на единицу площади, руб./га				86066,7

Таблица 8. Результаты расчета ущерба от деградации земель Земетчинского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
4	44300	5400,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	759726000,0	759726,0	
3	44300	18000,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	2229408000,0	2229408	
2	44300	30800,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	3037034000,0	3037034	
1	44300	25700,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1885197800,0	1885197,8	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	44300	10500,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	1477245000,0	1477245,0	
3	44300	49400,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	6118486400,0	6118486,4	
1	44300	14400,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	1056297600,0	1056297,6	
Изменение кислотности (рН КС1)									
4	44300	10 500,0	1	62 800,0	1,9	0,9	1477245000,0	1477245,0	
3	44300	35 400,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	4384502400,0	4384502,4	
2	44300	31 600,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	3115918000,0	3115918,0	
1	44300	5 000,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	366770000,0	366770,0	
Уменьшение содержания гумуса									
4	44300	9 400,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	1322486000,0	1322486,0	
2	44300	7 500,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	739537500,0	739537,5	
1	44300	39 500,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2897483000,0	2897483,0	
Общая величина ущерба, руб.							30867336700,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		105313,3

Таблица 9. Результаты расчета ущерба от деградации земель Иссинского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
3	59800	4900,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	722338400	722338,4	
2	59800	18100,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2051273000	2051273	
1	59800	31600,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2504110400	2504110,4	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	59800	1700,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	289238000,0	289238,0	
3	59800	46800,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	6899068800,0	6899068,8	
1	59800	11100,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	879608400,0	879608,4	
Изменение кислотности (pH KCl)									
4	59800	2 600,0	1	62 800,0	1,9	0,9	442364000,0	442364,0	
3	59800	22 900,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	3375826400,0	3375826,4	
2	59800	29 200,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	3309236000,0	3309236,0	
1	59800	8 100,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	641876400,0	641876,4	
Уменьшение содержания гумуса									
2	59800	1 600,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	181328000,0	181328,0	
1	59800	7 700,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	610178800,0	610178,8	
Общая величина ущерба, руб.							21906446600,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		117586,9

Таблица 10. Результаты расчета ущерба от деградации земель Никольского района Пензенской области

Степень деградации и земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
4	16400	3600,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	315648000	315648,0	
3	16400	24500,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	1995476000	1995476	
2	16400	19000,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	1369900000	1369900	
1	16400	8900,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	558492800	558492,8	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	16400	19000,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	1665920000,0	1665920,0	
3	16400	35000,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	2850680000,0	2850680,0	
1	16400	2500,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	156880000,0	156880,0	
Изменение кислотности (рН КСl)									
4	16400	14 200,0	1	62 800,0	1,9	0,9	1245056000,0	1245056,0	
3	16400	33 200,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	2704073600,0	2704073,6	
2	16400	9 300,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	670530000,0	670530,0	
1	16400	2 300,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	144329600,0	144329,6	
Уменьшение содержания гумуса									
4	16400	16 100,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	1411648000,0	1411648,0	
2	16400	25 200,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	1816920000,0	1816920,0	
Общая величина ущерба, руб.							16905554000,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		79443,4

Таблица 11. Результаты расчета ущерба от деградации земель Пачелмского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
3	54900	9500,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	1329696000	1329696	
2	54900	18400,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	1999620000	1999620	
1	54900	17200,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1330970400	1330970,4	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	54900	1900,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	305577000,0	305577,0	
3	54900	43700,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	6116601600,0	6116601,6	
1	54900	6100,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	472030200,0	472030,2	
Изменение кислотности (pH KCl)									
4	54900	4 000,0	1	62 800,0	1,9	0,9	643320000,0	643320,0	
3	54900	30 600,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	4283020800,0	4283020,8	
2	54900	15 800,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	1717065000,0	1717065,0	
1	54900	3 700,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	286313400,0	286313,4	
Уменьшение содержания гумуса									
4	54900	400,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	64332000,0	64332,0	
2	54900	7 100,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	771592500,0	771592,5	
1	54900	24 800,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1919073600,0	1919073,6	
Общая величина ущерба, руб.							21239212500,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		115934,6

Таблица 12. Результаты расчета ущерба от деградации земель Сосновоборского района Пензенской области

Степень деградации и земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации	
	Нс, руб./га	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.
Уменьшение содержания обменного калия								
4	26400	4300,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	458724000	458724,0
3	26400	19400,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	1874971200	1874971,2
2	26400	10700,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	873120000	873120
1	26400	5800,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	386001600	386001,6
Уменьшение содержания подвижного фосфора								
4	26400	14200,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	1514856000,0	1514856,0
3	26400	25700,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	2483853600,0	2483853,6
1	26400	2300,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	153069600,0	153069,6
Изменение кислотности (pH KCl)								
4	26400	9 700,0	1	62 800,0	1,9	0,9	1034796000,0	1034796,0
3	26400	26 900,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	2599831200,0	2599831,2
2	26400	6 500,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	530400000,0	530400,0
1	26400	1 600,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	106483200,0	106483,2
Уменьшение содержания гумуса								
4	26400	4 500,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	480060000,0	480060,0
2	26400	11 600,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	946560000,0	946560,0
Общая величина ущерба, руб.							13442726400,0	
					Ущерб на единицу площади, руб./га		93873,8	

Таблица 13. Результаты расчета ущерба от деградации земель Шемышейского района Пензенской области

Степень деградации и земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации	
	Нс, руб./га	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.
Уменьшение содержания обменного калия								
4	40400	500,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	66640000	66640,0
3	40400	9600,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	1132108800	1132108,8
2	40400	24400,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2315560000	2315560
1	40400	38100,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2738323200	2738323,2
Уменьшение содержания подвижного фосфора								
4	40400	11600,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	1546048000,0	1546048,0
3	40400	60900,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	7181815200,0	7181815,2
1	40400	4200,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	301862400,0	301862,4
Изменение кислотности (рН КСl)								
4	40400	1 500,0	1	62 800,0	1,9	0,9	199920000,0	199920,0
3	40400	37 700,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	4445885600,0	4445885,6
2	40400	29 700,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2818530000,0	2818530,0
1	40400	5 500,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	395296000,0	395296,0
Уменьшение содержания гумуса								
4	40400	2 300,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	306544000,0	306544,0
2	40400	25 900,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2457910000,0	2457910,0
Общая величина ущерба, руб.							25906443200,0	
				Ущерб на единицу площади, руб./га			102844,2	

Таблица 14. Результаты расчета ущерба от деградации земель Башмаковского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
3	58900	8800,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	1285222400	1285222,4	
2	58900	31000,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	3486725000	3486725	
1	58900	40100,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	3163970200	3163970,2	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	58900	300,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	50529000,0	50529,0	
3	58900	64300,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	9390886400,0	9390886,4	
1	58900	14100,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	1112518200,0	1112518,2	
Изменение кислотности (pH KCl)									
4	58900	900,0	1	62 800,0	1,9	0,9	151587000,0	151587,0	
3	58900	25 200,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	3680409600,0	3680409,6	
1	58900	51 200,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	4039782400,0	4039782,4	
Уменьшение содержания гумуса									
2	58900	700,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	78732500,0	78732,5	
1	58900	22 400,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1767404800,0	1767404,8	
Общая величина ущерба, руб.							28207767500,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		108910,3

Таблица 15. Результаты расчета ущерба от деградации земель Бековского района Пензенской области

Степень деградации и земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации	
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.
Уменьшение содержания обменного калия								
3	67500	2500,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	397800000	397800
2	67500	20100,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2424964500	2424965
1	67500	47200,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	3878424000	3878424
Уменьшение содержания подвижного фосфора								
3	67500	51400,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	8178768000,0	8178768,0
1	67500	19700,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	1618749000,0	1618749,0
Изменение кислотности (рН КСl)								
3	67500	20300,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	3230136000,0	3230136,0
1	67500	43300,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	3557961000,0	3557961,0
Уменьшение содержания гумуса								
2	67500	500,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	60322500,0	60322,5
1	67500	7 600,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	624492000,0	624492,0
Общая величина ущерба, руб.							23971617000,0	
Ущерб на единицу площади, руб./га							112754,5	

Таблица 16. Результаты расчета ущерба от деградации земель Белинского района Пензенской области

Степень деградации и земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации	
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.
Уменьшение содержания обменного калия								
4	56600	200,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	32812000	32812,0
3	56600	14700,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	2095514400	2095514,4
2	56600	41000,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	4521890000	4521890
1	56600	52900,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	4127681200	4127681,2
Уменьшение содержания подвижного фосфора								
4	56600	3500,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	574210000,0	574210,0
3	56600	65200,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	9294390400,0	9294390,4
1	56600	35600,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	2777796800,0	2777796,8
Изменение кислотности (рН КСl)								
4	56600	5 900,0	1	62 800,0	1,9	0,9	967954000,0	967954,0
3	56600	45 800,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	6528881600,0	6528881,6
1	56600	51 600,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	4026244800,0	4026244,8
Уменьшение содержания гумуса								
4	56600	200,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	32812000,0	32812,0
2	56600	5 800,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	639682000,0	639682,0
1	56600	31 700,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2473487600,0	2473487,6
Общая величина ущерба, руб.							38093356800,0	
Ущерб на единицу площади, руб./га							107578,0	

Таблица 17. Результаты расчета ущерба от деградации земель Бессоновского района Пензенской области

Степень деградации и земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации	
	Нс, руб./га	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.
Уменьшение содержания обменного калия								
4	57500	0,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	0	0,0
3	57500	3000,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	431760000	431760
2	57500	14800,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	1644946000	1644946
1	57500	25400,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1990598000	1990598
Уменьшение содержания подвижного фосфора								
4	57500	3200,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	530464000,0	530464,0
3	57500	29700,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	4274424000,0	4274424,0
1	57500	14200,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	1112854000,0	1112854,0
Изменение кислотности (рН КСl)								
4	57500	4 500,0	1	62 800,0	1,9	0,9	745965000,0	745965,0
3	57500	23 100,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	3324552000,0	3324552,0
1	57500	24 800,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1943576000,0	1943576,0
Уменьшение содержания гумуса								
4	57500	5 100,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	845427000,0	845427,0
2	57500	13 800,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	1533801000,0	1533801,0
1	57500	24 300,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1904391000,0	1904391,0
Общая величина ущерба, руб.							20282758000,0	
Ущерб на единицу площади, руб./га							109105,7	

Таблица 18. Результаты расчета ущерба от деградации земель Каменского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
3	52400	23600,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	3213564800	3213564,8	
2	52400	61800,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	6569340000	6569340	
1	52400	38100,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2912059200	2912059,2	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	52400	4400,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	686752000,0	686752,0	
3	52400	104300,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	14202322400,0	14202322,4	
1	52400	16600,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	1268771200,0	1268771,2	
Изменение кислотности (рН КСl)									
4	52400	4 700,0	1	62 800,0	1,9	0,9	733576000,0	733576,0	
3	52400	70 800,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	9640694400,0	9640694,4	
1	52400	46 900,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	3584660800,0	3584660,8	
Уменьшение содержания гумуса									
4	52400	200,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	31216000,0	31216,0	
2	52400	6 000,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	637800000,0	637800,0	
1	52400	48 700,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	3722238400,0	3722238,4	
Общая величина ущерба, руб.							47202995200,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		110779,1

Таблица 19. Результаты расчета ущерба от деградации земель Камешкирского района Пензенской области

Степень деградации и земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации	
	Нс, руб./га	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.
Уменьшение содержания обменного калия								
4	44000	1700,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	238204000	238204,0
3	44000	18500,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	2282900000	2282900
2	44000	29700,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2920104000	2920104
1	44000	21500,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1574660000	1574660
Уменьшение содержания подвижного фосфора								
4	44000	14000,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	1961680000,0	1961680,0
3	44000	57700,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	7120180000,0	7120180,0
1	44000	3000,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	219720000,0	219720,0
Изменение кислотности (pH KCl)								
4	44000	5 700,0	1	62 800,0	1,9	0,9	798684000,0	798684,0
3	44000	44 000,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	5429600000,0	5429600,0
1	44000	24 300,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1779732000,0	1779732,0
Уменьшение содержания гумуса								
4	44000	3 600,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	504432000,0	504432,0
2	44000	22 600,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2222032000,0	2222032,0
1	44000	41 900,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	3068756000,0	3068756,0
Общая величина ущерба, руб.							30120684000,0	
Ущерб на единицу площади, руб./га							104513,1	

Таблица 20. Результаты расчета ущерба от деградации земель Колышлейского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
3	65500	8200,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	1279856000	1279856	
2	65500	40600,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	4821047000	4821047	
1	65500	84500,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	6879145000	6879145	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	65500	2300,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	416231000,0	416231,0	
3	65500	102500,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	15998200000,0	15998200,0	
1	65500	31500,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	2564415000,0	2564415,0	
Изменение кислотности (pH KCl)									
4	65500	1 000,0	1	62 800,0	1,9	0,9	180970000,0	180970,0	
3	65500	43 600,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	6805088000,0	6805088,0	
1	65500	78 300,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	6374403000,0	6374403,0	
Уменьшение содержания гумуса									
2	65500	4 800,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	569976000,0	569976,0	
1	65500	44 900,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	3655309000,0	3655309,0	
Общая величина ущерба, руб.							49544640000,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		112041,2

Таблица 21. Результаты расчета ущерба от деградации земель Кузнецкого района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации	
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.
Уменьшение содержания обменного калия								
4	57300	1200,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	198468000	198468,0
3	57300	15300,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	2197324800	2197324,8
2	57300	23300,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2585251500	2585251,5
1	57300	17200,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1346656800	1346656,8
Уменьшение содержания подвижного фосфора								
4	57300,0	4100,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	678099000,0	678099,0
3	57300,0	40700,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	5845171200,0	5845171,2
1	57300,0	11900,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	931698600,0	931698,6
Изменение кислотности (рН КСl)								
4	57300	6 100,0	1	62 800,0	1,9	0,9	1008879000,0	1008879,0
3	57300	29 500,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	4236672000,0	4236672,0
1	57300	20 800,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1628515200,0	1628515,2
Уменьшение содержания гумуса								
4	57300	6 200,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	1025418000,0	1025418,0
2	57300	18 800,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2085954000,0	2085954,0
1	57300	30 300,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2372308200,0	2372308,2
Общая величина ущерба, руб.							26140416300,0	
Ущерб на единицу площади, руб./га							115973,5	

Таблица 22. Результаты расчета ущерба от деградации земель Лопатинского района Пензенской области

Степень деградации и земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации	
	Нс, руб./га	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.
Уменьшение содержания обменного калия								
4	48400	1100,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	163328000	163328,0
3	48400	18300,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	2380610400	2380610,4
2	48400	21200,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2173000000	2173000
1	48400	15400,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1153644800	1153644,8
Уменьшение содержания подвижного фосфора								
4	48400	10100,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	1499648000,0	1499648,0
3	48400	47900,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	6231215200,0	6231215,2
1	48400	4500,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	337104000,0	337104,0
Изменение кислотности (рН КСl)								
4	48400	2 100,0	1	62 800,0	1,9	0,9	311808000,0	311808,0
3	48400	29 200,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	3798569600,0	3798569,6
1	48400	28 500,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2134992000,0	2134992,0
Уменьшение содержания гумуса								
4	48400	2 600,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	386048000,0	386048,0
2	48400	20 500,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2101250000,0	2101250,0
1	48400	38 300,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2869129600,0	2869129,6
Общая величина ущерба, руб.							25540347600,0	
Ущерб на единицу площади, руб./га							106551,3	

Таблица 23. Результаты расчета ущерба от деградации земель Лунинского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
3	54100	3700,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	513382400	513382,4	
2	54100	21900,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2363338500	2363338,5	
1	54100	29700,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2289216600	2289216,6	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	54100	800,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	127448000,0	127448,0	
3	54100	40800,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	5661081600,0	5661081,6	
1	54100	14700,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	1133046600,0	1133046,6	
Изменение кислотности (pH KCl)									
4	54100	1 000,0	1	62 800,0	1,9	0,9	159310000,0	159310,0	
3	54100	17 600,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	2442035200,0	2442035,2	
1	54100	37 000,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2851886000,0	2851886,0	
Уменьшение содержания гумуса									
4	54100	4 900,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	780619000,0	780619,0	
2	54100	5 200,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	561158000,0	561158,0	
1	54100	16 500,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1271787000,0	1271787,0	
Общая величина ущерба, руб.							20154308900,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		103995,4

Таблица 24. Результаты расчета ущерба от деградации земель Мокшанского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
4	53400	200,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	31596000	31596,0	
3	53400	23000,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	3166824000	3166824	
2	53400	55400,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	5941650000	5941650	
1	53400	60200,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	4624082400	4624082,4	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	53400	18500,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	2922630000,0	2922630,0	
3	53400	107600,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	14815228800,0	14815228,8	
1	53400	12200,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	937106400,0	937106,4	
Изменение кислотности (pH KCl)									
4	53400	4 000,0	1	62 800,0	1,9	0,9	631920000,0	631920,0	
3	53400	87 700,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	12075237600,0	12075237,6	
1	53400	43 600,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	3349003200,0	3349003,2	
Уменьшение содержания гумуса									
2	53400	4 000,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	429000000,0	429000,0	
1	53400	32 700,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2511752400,0	2511752,4	
Общая величина ущерба, руб.							51436030800,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		114531,4

Таблица 25. Результаты расчета ущерба от деградации земель Малосердобинского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
3	62000	8300,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	1251308000	1251308	
2	62000	49700,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	5736374000	5736374	
1	62000	29400,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2354352000	2354352	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	62000	12400,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	2161568000,0	2161568,0	
3	62000	72000,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	10854720000,0	10854720,0	
1	62000	4300,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	344344000,0	344344,0	
Изменение кислотности (pH KCl)									
4	62000	6 000,0	1	62 800,0	1,9	0,9	1045920000,0	1045920,0	
3	62000	51 000,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	7688760000,0	7688760,0	
1	62000	27 800,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2226224000,0	2226224,0	
Уменьшение содержания гумуса									
4	62000	300,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	52296000,0	52296,0	
2	62000	7 400,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	854108000,0	854108,0	
1	62000	50 200,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	4020016000,0	4020016,0	
Общая величина ущерба, руб.							38589990000,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		121047,6

Таблица 26. Результаты расчета ущерба от деградации земель Наровчатского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
4	51100	500,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	76805000	76805,0	
3	51100	14700,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	1972622400	1972622,4	
2	51100	22700,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2384975500	2384975,5	
1	51100	12500,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	949225000	949225	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	51100	2700,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	414747000,0	414747,0	
3	51100	38900,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	5220068800,0	5220068,8	
1	51100	7700,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	584722600,0	584722,6	
Изменение кислотности (pH KCl)									
4	51100	3 500,0	1	62 800,0	1,9	0,9	537635000,0	537635,0	
3	51100	20 600,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	2764355200,0	2764355,2	
1	51100	25 000,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1898450000,0	1898450,0	
Уменьшение содержания гумуса									
4	51100	5 300,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	814133000,0	814133,0	
2	51100	9 100,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	956091500,0	956091,5	
1	51100	16 400,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1245383200,0	1245383,2	
Общая величина ущерба, руб.							19819214200,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		110352,0

Таблица 27. Результаты расчета ущерба от деградации земель Неверкинского района Пензенской области

Степень деградации и земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации	
	Нс, руб./га	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.
Уменьшение содержания обменного калия								
4	55000	1200,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	193224000	193224,0
3	55000	12500,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	1751500000	1751500
2	55000	18500,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2012245000	2012245
1	55000	18700,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1447754000	1447754
Уменьшение содержания подвижного фосфора								
4	55000	4600,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	740692000,0	740692,0
3	55000	45000,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	6305400000,0	6305400,0
1	55000	7200,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	557424000,0	557424,0
Изменение кислотности (pH KCl)								
4	55000	1 300,0	1	62 800,0	1,9	0,9	209326000,0	209326,0
3	55000	17 300,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	2424076000,0	2424076,0
1	55000	34 900,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2701958000,0	2701958,0
Уменьшение содержания гумуса								
4	55000	3 700,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	595774000,0	595774,0
2	55000	24 800,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2697496000,0	2697496,0
1	55000	28 900,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2237438000,0	2237438,0
Общая величина ущерба, руб.							23874307000,0	
Ущерб на единицу площади, руб./га							109214,6	

Таблица 28. Результаты расчета ущерба от деградации земель Нижнеломовского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
4	51100	500,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	76805000	76805,0	
3	51100	14700,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	1972622400	1972622,4	
2	51100	22700,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2384975500	2384975,5	
1	51100	12500,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	949225000	949225	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	51100	2700,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	414747000,0	414747,0	
3	51100	38900,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	5220068800,0	5220068,8	
1	51100	7700,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	584722600,0	584722,6	
Изменение кислотности (pH KCl)									
4	51100	3 500,0	1	62 800,0	1,9	0,9	537635000,0	537635,0	
3	51100	20 600,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	2764355200,0	2764355,2	
1	51100	25 000,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1898450000,0	1898450,0	
Уменьшение содержания гумуса									
4	51100	5 300,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	814133000,0	814133,0	
2	51100	9 100,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	956091500,0	956091,5	
1	51100	16 400,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1245383200,0	1245383,2	
Общая величина ущерба, руб.							19819214200,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		110352,0

Таблица 29. Результаты расчета ущерба от деградации земель Пензенского района Пензенской области

Степень деградации и земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации	
	Нс, руб./га	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.
Уменьшение содержания обменного калия								
4	49000	400,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	59848000	59848,0
3	49000	35600,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	4663600000	4663600
2	49000	67500,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	6957225000	6957225
1	49000	66800,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	5019352000	5019352
Уменьшение содержания подвижного фосфора								
4	49000	12500,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	1870250000,0	1870250,0
3	49000	138200,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	18104200000,0	18104200,0
1	49000	18200,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	1367548000,0	1367548,0
Изменение кислотности (рН КСl)								
4	49000	10 200,0	1	62 800,0	1,9	0,9	1526124000,0	1526124,0
3	49000	109 200,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	14305200000,0	14305200,0
1	49000	46 100,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	3463954000,0	3463954,0
Уменьшение содержания гумуса								
4	49000	1 400,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	209468000,0	209468,0
2	49000	17 100,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	1762497000,0	1762497,0
1	49000	84 400,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	6341816000,0	6341816,0
Общая величина ущерба, руб.							65651082000,0	
Ущерб на единицу площади, руб./га							108049,8	

Таблица 30. Результаты расчета ущерба от деградации земель Сердобского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
3	58600	4200,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	611486400	611486,4	
2	58600	26300,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	2950597000	2950597	
1	58600	72500,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	5712130000	5712130	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	58600	800,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	134288000,0	134288,0	
3	58600	86000,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	12520912000,0	12520912,0	
1	58600	28000,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	2206064000,0	2206064,0	
Изменение кислотности (рН КСl)									
4	58600	500,0	1	62 800,0	1,9	0,9	83930000,0	83930,0	
3	58600	33 200,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	4833654400,0	4833654,4	
1	58600	54 500,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	4293946000,0	4293946,0	
Уменьшение содержания гумуса									
4	58600	300,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	50358000,0	50358,0	
2	58600	9 300,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	1043367000,0	1043367,0	
1	58600	50 800,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	4002430400,0	4002430,4	
Общая величина ущерба, руб.							38443163200,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		104921,3

Таблица 31. Результаты расчета ущерба от деградации земель Спасского района Пензенской области

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации		
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.	
Уменьшение содержания обменного калия									
4	59600	400,0	1,0	62 800,0	1,9	0,9	67904000	67904,0	
3	59600	8900,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	1309296800	1309296,8	
2	59600	16900,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	1912066000	1912066	
1	59600	13100,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1037100800	1037100,8	
Уменьшение содержания подвижного фосфора									
4	59600	3100,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	526256000,0	526256,0	
3	59600	35300,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	5193053600,0	5193053,6	
1	59600	3900,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	308755200,0	308755,2	
Изменение кислотности (рН КСl)									
4	59600	1 700,0	1	62 800,0	1,9	0,9	288592000,0	288592,0	
3	59600	21 000,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	3089352000,0	3089352,0	
1	59600	18 200,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	1440857600,0	1440857,6	
Уменьшение содержания гумуса									
2	59600	200,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	22628000,0	22628,0	
1	59600	7 200,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	570009600,0	570009,6	
Общая величина ущерба, руб.							15765871600,0		
							Ущерб на единицу площади, руб./га		121369,3

**Таблица 32. Результаты расчета ущерба от деградации земель Тамалинского района
Пензенской области**

Степень деградации земель	Данные для расчета ущерба от деградации почв и земель в соответствии с формулой (1)						Величина ущерба от деградации	
	Нс, руб./га,	S, га	Кс	Дх, руб./га	Кэ	Кв	Руб.	Тыс. руб.
Уменьшение содержания обменного калия								
3	69700	12400,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	2014553600	2014553,6
2	69700	38700,0	0,5	62 800,0	1,9	0,9	4749844500	4749844,5
1	69700	32200,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	2672793200	2672793,2
Уменьшение содержания подвижного фосфора								
4	69700	200,0	1,0	62800,0	1,9	0,9	37790000,0	37790,0
3	69700	65400,0	0,8	62800,0	1,9	0,9	10625145600,0	10625145,6
1	69700	25500,0	0,2	62800,0	1,9	0,9	2116653000,0	2116653,0
Изменение кислотности (pH KCl)								
3	69700	3 700,0	0,8	62 800,0	1,9	0,9	601116800,0	601116,8
1	69700	63 800,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	5295782800,0	5295782,8
Уменьшение содержания гумуса								
1	69700	9 700,0	0,2	62 800,0	1,9	0,9	805158200,0	805158,2
Общая величина ущерба, руб.							28918837700,0	
				Ущерб на единицу площади, руб./га			114939,7	

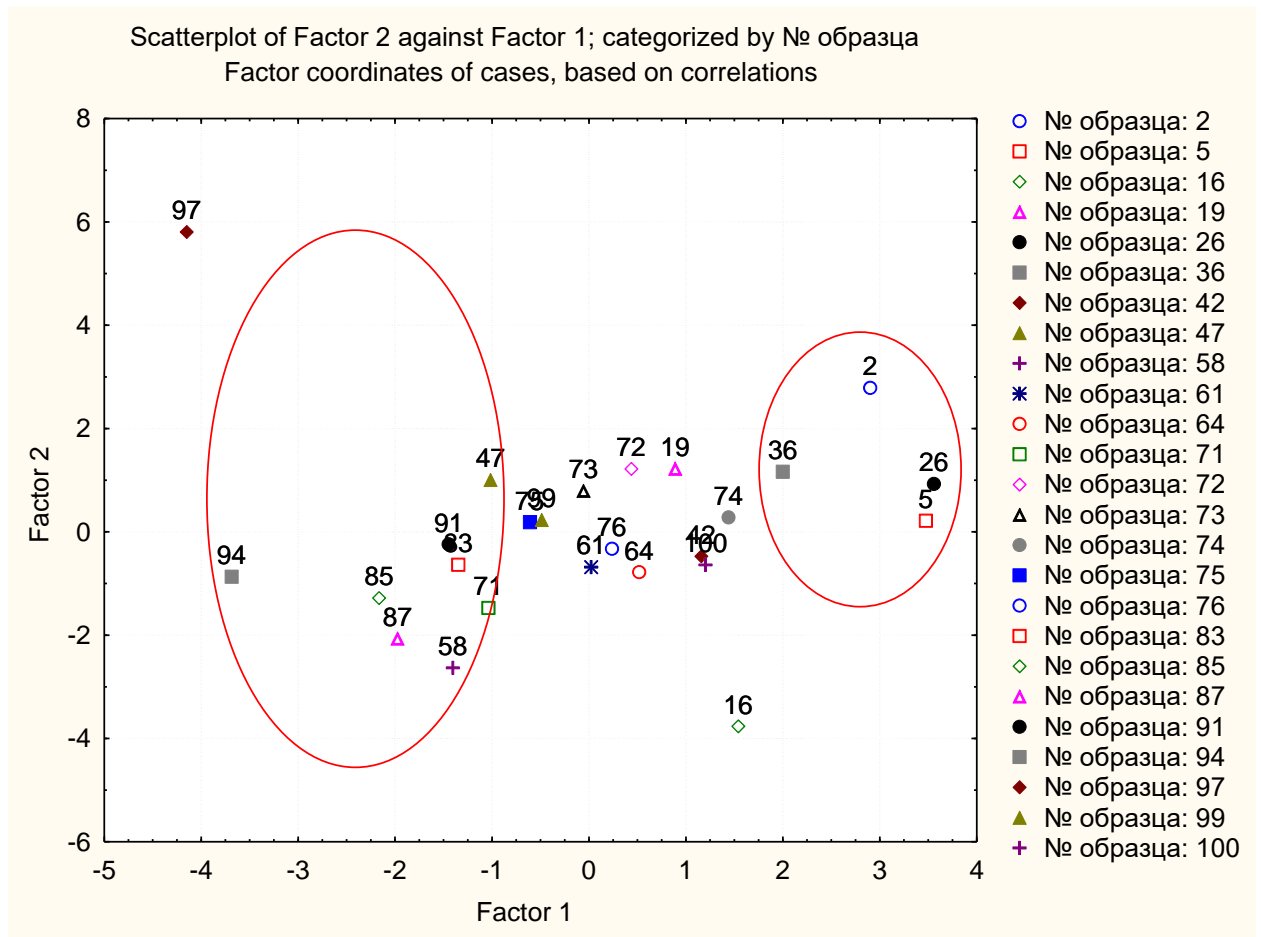


Рисунок 1. Факторный анализ по образцам