

На правах рукописи

АНДРЕЕВА ОЛЬГА ВАЛЕНТИНОВНА

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ
МОДЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ
ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЕГРАДАЦИИ
ЗЕМЕЛЬ**

Специальность 1.6.21. Геоэкология

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора географических наук**

Москва, 2026

Работа выполнена в
Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова (2002-2017),
Институте географии РАН (2017-2026),
Секретариате Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (2023-2026)

Научные консультанты:

Зонн Игорь Сергеевич, доктор географических наук
--

Куст Герман Станиславович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник ИГ РАН

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Современная проблема устойчивого землепользования формируется на пересечении взаимосвязанных глобальных процессов — роста потребности в продовольствии и иных ресурсах, изменения климата, трансформации экосистем, утраты биоразнообразия и накопления деградационных изменений земель. Земельные ресурсы одновременно выполняют производственные, водорегулирующие, климаторегулирующие и средообразующие функции, поэтому их деградация выходит за рамки только аграрной проблематики и становится фактором системного риска для землепользования. Это определяет необходимость перехода от оценки отдельных компонентов и технологических мероприятий к анализу целостных моделей землепользования в конкретных пространственно-временных условиях (UNCCD, 2017; IPBES, 2018; IPCC, 2019), а обеспечение устойчивого землепользования требует научного обоснования способов сохранения продуктивности и экосистемных функций земель в целом.

Важнейшим этапом развития международной методологии стало формирование концепции нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ; Land Degradation Neutrality, LDN), закреплённой в ЦУР 15.3. Она предлагает измеримый критерий сохранения природного капитала и иерархию действий «предотвратить — сократить — восстановить» (Orr et al., 2017; Cowie et al., 2018). Вместе с тем глобальные прокси-индикаторы НБДЗ (динамика наземного покрова, динамика продуктивности земель, динамика запасов почвенного органического углерода) неизбежно упрощают природно-ландшафтное и хозяйственное разнообразие территорий и требуют национальной и локальной интерпретации, особенно в условиях высокой климатической изменчивости.

Принципиальное научное противоречие состоит также в том, что значительный массив документированных практик, результативность которых подтверждена в определённых условиях, не обеспечивает автоматически устойчивости территориальных систем. Эффективность отдельной практики зависит от природного потенциала, масштаба и пространственной организации землепользования, сочетания действующих нагрузок и рисков, а также от ее взаимодействия с другими мерами. Дополнительную методологическую проблему создает временная нестационарность: оценка относительно фиксированного базового периода способна смешивать кратковременные климатические флуктуации, долгосрочные природные тренды и последствия хозяйственной деятельности (Liniger et al., 2011; Thomas et al., 2018; Kust, Andreeva et al., 2018; Kust, Andreeva et al., 2023).

Для Российской Федерации эти вопросы особенно значимы вследствие больших пространственных масштабов, природно-зональной неоднородности и сочетания интенсивно используемых агроландшафтов с пастбищными, лесными, аридными, бореальными и постагрогенными территориями. Актуальность диссертационного исследования определяется, таким образом, необходимостью развития геоэкологических основ устойчивого землепользования, позволяющих перейти от каталогизации отдельных практик к моделированию их взаимодополняющих сочетаний для конкретных объектов, использовать НБДЗ как верифицируемый критерий результата и учитывать пространственно-временную динамику состояния земель. Решение этой задачи имеет фундаментальное значение для геоэкологии и прямое прикладное значение для мониторинга, территориального планирования и разработки мер по предотвращению

и сокращению деградации земель, а также восстановлению деградированных территорий (Kust, Andreeva et al., 2022; Лобковский, Андреева, Куст, 2022).

Степень разработанности проблемы

Проблематика деградации земель и устойчивого землепользования развивается на пересечении географии, почвоведения, экологии, агроэкологии и теории природопользования. Значительный фундаментальный вклад в формирование её научных основ внесла отечественная географическая школа, развивавшая представления о целостности природных комплексов, пространственной дифференциации и взаимосвязях природных компонентов, закономерностях функционирования и динамики территориальных систем. Эти положения получили развитие в классическом ландшафтоведении Л.С. Берга и Н.А. Солнцева, учении о геосистемах В.Б. Сочавы, теоретических и региональных исследованиях А.Г. Исаченко, геохимии ландшафтов Б.Б. Плынова и геофизике ландшафтов К.Н. Дьяконова. Существенное значение для изучения природных систем имели также исследования Л.Г. Раменского в области геоботаники и экологии растительности и В.Н. Сукачёва, заложившего основы биогеоценологии. Прикладное развитие комплексных географических представлений связано с конструктивной географией И.П. Герасимова и исследованиями антропогенно преобразованных ландшафтов Ф.Н. Милькова.

Важнейшую роль в формировании научных основ оценки и предотвращения деградации земель сыграло отечественное почвоведение. Генетическое учение В.В. Докучаева заложило основы понимания закономерностей формирования и пространственной дифференциации почв; исследования В.А. Ковды существенно расширили представления о почвенных ресурсах, процессах засоления и их мелиорации, работы Б.Г. Розанова — о генезисе, морфологии, классификации и деградации почв, а Г.В. Добровольского — об экологических функциях почв в биосфере и наземных экосистемах. Развитие этих представлений в направлении агроэкологии и рационального использования земель получило выражение в теории адаптивно-ландшафтного земледелия В.И. Кирюшина, обосновавшего необходимость согласования систем земледелия и агротехнологий с агроэкологическими условиями и природными ограничениями территории. Совокупность этих научных направлений сформировала теоретические предпосылки комплексного исследования деградации земель и разработки территориально обусловленных подходов к устойчивому землепользованию.

В международной практике развития подходов устойчивого землепользования важную роль сыграли методология FESLM, системы оценки деградации GLASOD и LADA, а также WOCAT, сформировавшая стандартизированную базу технологий и подходов (Smyth, Dumanski, 1993; Liniger et al., 2011). Концепция НБДЗ придала этим разработкам общую измеримую рамку сохранения природного капитала, а современные методы дистанционного зондирования и ГИС обеспечили возможность регулярного пространственно-временного мониторинга (Orr et al., 2017; Sims et al., 2021).

В научно-методических разработках КБО ООН (UNCCD) достижение НБДЗ связывается с интегрированным планированием землепользования (Integrated Land Use Planning, ILUP) и интегрированным управлением ландшафтами (Integrated Landscape Management, ILM). ILUP обеспечивает оценку и согласование распределения земельных ресурсов между конкурирующими видами использования с учётом потребностей населения, сохранения природного капитала и межотраслевых компромиссов. ILM акцентирует долгосрочное сотрудничество заинтересованных сторон для достижения взаимосвязанных экологических, социальных и экономических целей в

пределах ландшафта, водосбора или региона. Эти подходы взаимодополняют друг друга; их соотношение не сводится к последовательности «планирование — исполнение» (Verburg et al., 2022). Развитие данной методологии также отражено в концепции устойчивых систем землепользования (Sustainable Land Use Systems, SLUS), объединяющей экологическую устойчивость, экономическую жизнеспособность и социальную справедливость. SLUS рассматриваются как динамические сочетания взаимосвязанных видов использования земель в пределах ландшафта, а их формирование предполагает социально-экологический системный подход и участие заинтересованных сторон в управлении (Cowie et al., 2024). Таким образом, переход от отдельных практик к целостным системам и адаптивному управлению уже составляет существенную часть международной исследовательской повестки.

Вместе с тем применение указанных подходов к конкретным территориям требует согласования природных, хозяйственных и институциональных условий с составом управленческих решений. Для настоящего исследования ключевое значение имеет развитие ресурсного подхода, принципа территориальной обусловленности моделей и методологии динамической проверки эффективности землепользования по критерию НБДЗ. Для решения этих задач геосистемный подход сохраняет значение теоретической основы изучения природных компонентов и их пространственно-временных связей. В настоящем исследовании эта основа сопряжена с анализом систем землепользования и территориально обусловленных моделей УЗП. Тем самым научная линия проходит от классических представлений о природных территориальных единствах к исследованию целостных систем землепользования, обоснованию функционально взаимодействующих комплексов практик и проверке эффективности их применения по критерию НБДЗ.

Научная проблема, на решение которой направлено диссертационное исследование, состоит в недостаточной разработанности единых оснований перехода от локальных практик к территориально обусловленным моделям устойчивого землепользования, объединяющим ресурсное объяснение условий устойчивости, функциональную взаимодейственность практик и динамическую оценку достигнутых изменений состояния земель. Решение этой проблемы предполагает разграничение самой модели как системы представлений об организации землепользования и конкретных методов её описания, формирования и проверки.

Центральная идея исследования заключается в том, что устойчивость землепользования представляет собой эмерджентное свойство системы землепользования и зависит от согласованности комплекса практик с ресурсным потенциалом территории, действующими воздействиями и потенциальными рисками деградации. Основным научным результатом выступает геозэкологическая концепция моделей устойчивого землепользования, связывающая ресурсный подход, принципы системности и территориальной обусловленности моделей, способы их формирования и оценку эффективности по критерию НБДЗ. Динамическая диагностика дополняет такую оценку характеристиками устойчивости изменений и создаёт аналитические предпосылки для прогнозирования, стратегического планирования и адаптации моделей.

Цель и задачи исследования

Цель исследования — разработать и обосновать геозэкологическую концепцию моделей устойчивого землепользования, на основе ресурсного подхода раскрывающую основания их формирования и функционирования, принципы территориальной обусловленности, методы пространственно-временной оценки эффективности по критерию нейтрального баланса деградации

земель, а также возможности использования результатов динамической диагностики для прогнозирования, стратегического планирования и адаптивной корректировки моделей.

Для достижения поставленной цели решались следующие взаимосвязанные задачи:

1. Провести критический анализ отечественных и зарубежных теоретико-методологических подходов к устойчивому землепользованию и оценке деградации земель; выявить ограничения перехода от отдельных локально результативных практик к территориально согласованным комплексам решений, совокупная результативность которых может быть проверена по критерию НБДЗ.
2. Уточнить понятийный аппарат геоэкологической концепции моделей устойчивого землепользования, разграничив объект землепользования, практику, систему землепользования и модель; определить принципы системности и территориальной обусловленности моделей, а также роль семантического моделирования и алгоритмов локализации как средств их формализованного описания и формирования.
3. Обосновать представление об устойчивости землепользования как комплексном и эмерджентном пространственно-временно обусловленном свойстве системы землепользования; определить принципы её исследования и оценки посредством моделей, отражающих взаимосвязи практик, условий их применения и совокупных изменений состояния земель.
4. Развить и применить ресурсный подход к обоснованию моделей УЗП, связывающий природный и антропогенно расширенный потенциал земель с действующими неблагоприятными воздействиями и потенциальными рисками деградации; определить основания согласования функционально взаимодействующих практик в составе целостной модели.
5. Обосновать достижение НБДЗ как главный интегральный критерий устойчивого землепользования и целевой ориентир моделей УЗП; определить границы его использования при оценке сохранения и восстановления земельного природного капитала, разграничивая наблюдаемую результативность, эффективность модели и долговременную устойчивость.
6. Разработать типологию моделей землепользования по характеру обеспечения устойчивости на основе использования, поддержания и преобразования природного и антропогенно расширенного потенциала земель; определить особенности природно обусловленных, поддерживаемых, расширенных и неустойчивых моделей с учётом территориальных условий и масштаба управления.
7. Разработать методический подход к динамической диагностике состояния земель и оценке НБДЗ на основе последовательных временных интервалов, повторяемости категорий изменений, направленности и скорости тенденций; определить его значение для оценки эффективности моделей, формирования предпосылок прогнозно-сценарного анализа, стратегического планирования и адаптивной корректировки решений.
8. Апробировать разработанные концептуальные положения, типологию и методы оценки на тестовых территориях России и стран Центральной Азии; установить условия их применимости, ограничения переноса результатов и требования к адаптации моделей к различным природно-хозяйственным условиям.
9. Обосновать принципы формирования реестра моделей УЗП и территориальной обусловленности их применения; разработать процедуры и алгоритмы локализации,

связывающие параметры объектов с применимостью и совместимостью практик, а также определить роль экспертной оценки и динамической диагностики в уточнении моделей.

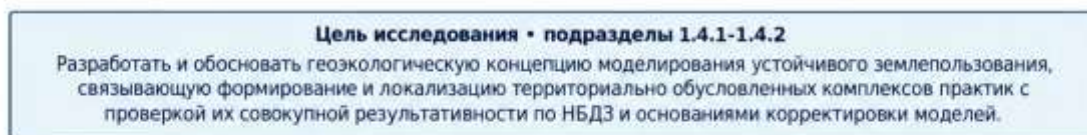
Объект и предмет исследования

Объект исследования — системы землепользования различного пространственного уровня, состояние и динамика которых определяются взаимодействием природных процессов и хозяйственного использования земель.

Предмет исследования — теоретические основания и принципы геоэкологической концепции моделей устойчивого землепользования, ресурсные и функциональные условия их формирования, территориальная обусловленность, методы типологизации, локализации и пространственно-временной оценки эффективности по критерию НБДЗ, а также подходы к адаптивной корректировке моделей.

Цель, задачи и методология исследования

Логика исследования в форме теории изменений • подраздел 1.4.4



Система задач: критический анализ и понятия → ресурсная концепция → типология → апробация → принципы применения

Динамическая диагностика и верификация — сквозное методическое обеспечение



Принцип обратной связи: результаты верификации → уточнение состава и условий применения моделей

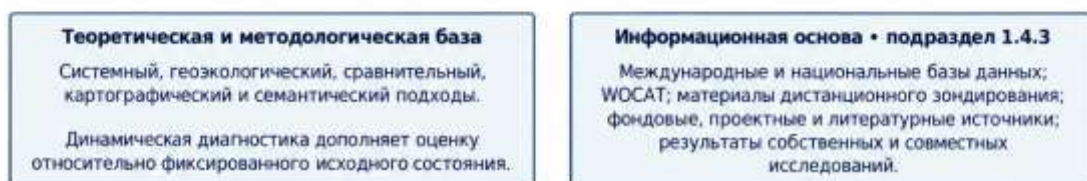


Рисунок 1 — Логическая взаимосвязь задач диссертационного исследования.

Информационная и эмпирическая основа исследования

Исследование основано на материалах многолетних собственных и совместных полевых, экспедиционных, картографических и научно-проектных работ, международных научно-прикладных проектов, международных и национальных баз данных, научных публикаций, фондовых, ведомственных и статистических источников, а также данных дистанционного зондирования Земли. Эмпирическая база охватывает Россию и пять стран Центральной Азии — Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан. Рассмотрены богарные пахотные земли, орошаемые агроландшафты, пастбищные, лесохозяйственные, агролесомелиоративные и природоохранные системы, нарушенные и восстанавливаемые земли в условиях от лесостепных и степных до пустынных и горных ландшафтов.

Для систематизации практик устойчивого землепользования использованы описания технологий и подходов всемирной базы данных WOCAT, материалы программы CASILM, международных и национальных проектов, собственных и совместных исследований. Количественно охарактеризованную часть базы составили 186 описаний практик в 127 административных районах 37 субъектов Российской Федерации и 261 документированная площадка в Кыргызстане и Таджикистане. Эти массивы обеспечили унификацию и классификацию описаний, пространственный анализ условий применения и параметрическую характеристику действия практик. Общая совокупность изученных материалов существенно шире указанных массивов и охватывает дополнительные земледельческие, пастбищные, водохозяйственные, лесомелиоративные и восстановительные мероприятия.

Геоинформационную основу оценки состояния земель составили выполненные автором расчёты показателей НБДЗ для России в целом и всех субъектов Российской Федерации с использованием ГИС и инструментария Trends.Earth. Обработка данных об изменениях наземного покрова, продуктивности земель и запасов почвенного органического углерода обеспечила определение площадей и долей деградированных, улучшенных и стабильных земель, расчёт Индекса НБДЗ и картографическое представление результатов. Национальные и региональные оценки дополнены исследованиями на местном и локальном уровнях, позволившими выявить пространственную неоднородность изменений и уточнить интерпретацию глобальных субиндикаторов.

Для апробации динамической диагностики использованы временные ряды геопространственных данных и оценки за последовательные, в том числе перекрывающиеся, интервалы. Анализ повторяемости диагностических категорий и регрессионных характеристик позволил определить направленность и скорость изменений, устойчивость наблюдаемых тенденций и чувствительность результатов к выбору периода. Эти оценки дополняют установленную базовую линию и формируют аналитические предпосылки для прогнозно-сценарного анализа и пространственной приоритизации управленческих мер, не заменяя самостоятельного построения прогностических моделей.

Сравнительно-методическую основу исследования расширили материалы региональных и локальных оценок НБДЗ в России и странах Центральной Азии, охватывающие контрастные природно-хозяйственные условия и типы землепользования. Сопоставление материалов позволило определить условия применимости диагностических подходов, особенности интерпретации глобальных субиндикаторов и возможности их дополнения региональными и наземными данными о ведущих процессах деградации земель.

Дополнительный блок составили исходные данные и результаты расчётов углеродного баланса с использованием ЕХ-АСТ для контрастных вариантов землепользования в Центральной Азии. Материалы совместных исследований, в которых автор осуществляла методическое сопровождение применения инструментария и геоэкологическую интерпретацию результатов, использованы для сопоставления ожидаемых изменений запасов углерода и выбросов парниковых газов при различных сочетаниях практик. Эти оценки дополнили характеристику моделей с разграничением расчётного климатического эффекта и фактической результативности по критерию НБДЗ.

Для углублённой проработки семантических моделей целенаправленно отобраны объекты с достаточной информационной обеспеченностью и контрастными сочетаниями природного и антропогенно-расширенного потенциала, воздействий, рисков и условий управления. При сопоставлении разграничены единицы документирования практик, территории их фактического применения и пространственные единицы оценки НБДЗ; учтены различия в происхождении, полноте, пространственном разрешении данных и продолжительности наблюдений.

Научная новизна

Основной научный результат диссертационного исследования состоит в разработке геоэкологической концепции моделей устойчивого землепользования, объединяющей обоснование условий устойчивости систем землепользования с применением ресурсного подхода, принципы формирования и территориальной обусловленности взаимодополняющих комплексов практик и методы оценки их эффективности по критерию НБДЗ. Динамическая диагностика используется для проверки изменений состояния земель, формирования аналитических предпосылок прогнозирования и стратегического планирования, а также определения оснований адаптивной корректировки моделей. Системность, территориальная обусловленность и адаптивность, как и необходимость учитывать воздействия и риски, имеют длительную научную историю. Новизна исследования состоит в интеграции и методическом развитии этих положений для целостных моделей УЗП с проверкой эффективности по критерию НБДЗ в динамических пространственно-временных условиях. Научная новизна концепции раскрывается в следующих положениях:

1. Устойчивость землепользования интерпретируется как комплексное, эмерджентное, пространственно- и временно обусловленное свойство системы землепользования. Разграничены объект землепользования как целостный ландшафтно-хозяйственный объект с определёнными границами на местности, практика как технологический или управленческий приём и модель как формализованное представление функционально согласованного комплекса практик и условий его применения. Модель УЗП ориентирована на поддержание или восстановление функций земель и достижение НБДЗ; её обоснованность не равнозначна подтверждённой эффективности.

2. Обосновано использование достижения НБДЗ как главного интегрального критерия устойчивого землепользования и основного целевого ориентира моделей УЗП. Оценка НБДЗ характеризует совокупное изменение земельного природного капитала в установленных пространственно-временных границах; при этом её результат сам по себе не подтверждает причинную связь изменений с конкретной моделью и не исчерпывает социально-экономическую и институциональную устойчивость системы.

3. На основе развития и специального применения ресурсного подхода обоснована схема формирования и функционирования моделей УЗП, учитывающая взаимосвязь природного и антропогенно расширенного потенциала земель, действующих неблагоприятных воздействий и потенциальных рисков деградации. Новизна состоит не в самом ресурсном подходе, имеющем

длительную историю в науке о природопользовании, а в его применении к объяснению механизмов устойчивости, функциональной типологии и обоснованию моделей УЗП.

4. Предложена типология моделей землепользования по характеру обеспечения устойчивости, включающая природно обусловленные, поддерживаемые и расширенные модели УЗП, а также неустойчивые модели землепользования. Типология опирается не на отраслевую принадлежность или название технологий, а на способы поддержания и преобразования ресурсного потенциала и согласования взаимодополняющих практик.

5. Развита методический подход к динамической оценке НБДЗ посредством сопоставления последовательных временных интервалов, повторяемости диагностических категорий и регрессионных характеристик. Показаны возможности выявления устойчивых тенденций, определения приоритетов управления, пространственно-временной оценки эффективности моделей и формирования аналитической основы для прогнозно-сценарных исследований и адаптации.

6. Предложен дополнительный интегральный показатель — Индекс НБДЗ, рассчитываемый как разность долей улучшенных и деградированных земель в пределах одной территории за сопоставимый период оценки. Показатель предназначен для характеристики общего соотношения площадей разнонаправленных изменений и сравнительного анализа территорий при согласованных исходных данных и правилах классификации. Его интерпретация предусматривает анализ пространственного распределения и типов земель, на которых выявлены изменения.

7. Обоснован принцип территориальной обусловленности моделей УЗП: согласование их структуры и содержания с природными, хозяйственными и институциональными характеристиками объекта, его масштабом и рисками деградации. Для методической реализации этого принципа развита семантический подход и предложена инфологическая структура «практики — объекты — алгоритмы локализации», устанавливающая совместимость и условия применения практик.

8. Сформулированы принципы формирования реестра моделей УЗП как многоуровневой информационно-аналитической системы, связывающей описания практик, характеристики объектов и правила территориальной применимости.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Теоретическая значимость исследования определяется развитием общей международной концепции устойчивого землепользования посредством разработки геоэкологической концепции моделей УЗП. Она объединяет ресурсное обоснование условий устойчивости природно-антропогенных территориальных систем, принципы системности и территориальной обусловленности моделей, их функциональную типологию и оценку эффективности по критерию НБДЗ. При этом семантическое моделирование и инфологическое представление знаний выступают инструментами формирования и описания моделей, а не самостоятельной заменой концептуального основания.

Применение ресурсного подхода в сопряжении с критерием НБДЗ развивает методологическую базу обоснования моделей УЗП через согласованный анализ природного и антропогенно расширенного потенциала, актуальных воздействий и потенциальных рисков. Самостоятельное теоретическое значение имеет принцип территориальной обусловленности: при переходе от локального объекта к местному и региональному уровням необходимо согласовывать пространственный охват практик, их функциональную взаимодополняемость и границы оценки. Суммирование частных положительных эффектов не заменяет оценки изменения земельного природного потенциала на соответствующем пространственном уровне.

Научно обоснована связь принципа территориальной обусловленности с процедурами локализации моделей. Последние позволяют сопоставлять практики и характеристики объекта, а динамическая диагностика даёт основания проверять изменения состояния земель и пересматривать модель при изменении природных условий и хозяйственной нагрузки. Таким образом, локализация рассматривается как методическая реализация более общего принципа, а мониторинг и экспертная интерпретация обеспечивают обратную связь для адаптивной корректировки решений.

Динамический подход расширяет возможности анализа пространственно-временной изменчивости земель посредством сопоставления последовательных периодов наблюдения, оценки повторяемости диагностических категорий и тенденций. Получаемая информация позволяет рассматривать устойчивость моделей во времени и служит аналитической предпосылкой прогнозно-сценарной оценки, стратегического и территориального планирования и разработки адаптационных мероприятий.

Практическая значимость исследования связана с возможностью применения разработанного инструментария в следующих направлениях:

- при научном обосновании мер по предотвращению и сокращению деградации земель и восстановлению деградированных территорий, а также при разработке адаптационных стратегий землепользования в условиях изменения климата;
- при создании и совершенствовании региональных и национальных систем мониторинга состояния земель и оценки достижения ЦУР 15.3, включая использование динамических показателей наряду со стандартным индикатором площади деградированных земель;
- при территориальном и ландшафтном планировании, разработке схем землеустройства, планов управления пастбищами, агроландшафтами, лесными территориями и иными объектами землепользования;
- при формировании и ведении реестров практик и моделей устойчивого землепользования, а также цифровых систем поддержки принятия решений, обеспечивающих подбор и локализацию моделей по параметрам конкретной территории;
- при пространственной приоритизации природоохранных и восстановительных мероприятий на основе выделения устойчивых «горячих точек» деградации и территорий устойчивого улучшения;
- при подготовке научно-аналитических и экспертных материалов, национальной отчетности по КБО ООН и ЦУР, а также методических рекомендаций для органов управления и проектных организаций;
- в образовательной деятельности при разработке учебных курсов и программ повышения квалификации в области геоэкологии, устойчивого землепользования, мониторинга деградации земель и адаптации к изменению климата.

Методология и методы исследования

Теоретико-методологическую основу исследования составили положения геоэкологии, ландшафтоведения, почвоведения и теории природопользования; представления о природном потенциале и устойчивости территориальных систем; методология адаптивно-ландшафтного проектирования; международные подходы к оценке устойчивого землепользования и нейтрального баланса деградации земель. Исследование построено на сочетании дедуктивной логики (от общих принципов устойчивости и НБДЗ к системе параметров и типологии) и индуктивной логики (от

анализа конкретных практик и пилотных объектов к обобщению закономерностей и формированию моделей).

Базовым является системный подход, в соответствии с которым землепользование рассматривается как открытая система с внутренней структурой, иерархией уровней управления и нелинейными связями между воздействием и результатом. Геоэкологический подход обеспечивает учет пространственной неоднородности природных условий, ландшафтной структуры, масштаба, истории использования территории и совокупности действующих и потенциальных факторов деградации.

В работе использован комплекс взаимодополняющих методов:

- анализ и синтез научной литературы, международных методологических документов, нормативных материалов, национальных и региональных отчетов; сравнительный анализ отечественных и зарубежных концептуальных подходов;
- сравнительно-географический и сравнительно-кейсовый анализ практик землепользования в различных природных и хозяйственных условиях России и стран Центральной Азии;
- структурирование и анализ баз данных практик устойчивого землепользования, включая всемирную базу данных WOCAT и материалы национальных и проектных реестров; разработка чек-листов, классификаций и параметрических описаний;
- полевые геоэкологические наблюдения, почвенные и геоботанические описания, экспертные интервью и анализ проектных материалов на пилотных объектах, использованные для интерпретации дистанционных и расчетных данных;
- картографический метод, ГИС-анализ и методы дистанционного зондирования Земли для оценки изменений наземного покрова, продуктивности земель и других пространственно-временных характеристик;
- применение методологии НБДЗ и индикатора ЦУР 15.3.1 с использованием глобальных и национальных источников данных и инструментов типа Trends.Earth, дополненных локальными показателями деградации, где это необходимо для содержательной интерпретации;
- статистический анализ временных рядов, включая сглаживание и скользящие временные окна, анализ повторяемости трендов, корреляционный и регрессионный анализ, оценку скорости и направленности изменений, а также сравнительный анализ сценариев;
- расчет и использование интегральных характеристик, включая Индекс НБДЗ; на отдельных этапах — оценка углеродного баланса и климатических/эрозионных индикаторов для анализа адаптивности моделей;
- семантическое моделирование для формализации связей между практиками, параметрами и объектами землепользования; инфологическое моделирование для представления информационных массивов практик и объектов и разработки правил их локализации;
- типологический метод и методы визуализации многопараметрических моделей, включая лепестковые диаграммы, примененные для сопоставления альтернативных моделей, выявления системных дефицитов и обоснования необходимых сочетаний практик.

Положения, выносимые на защиту

1. Разработанная геоэкологическая концепция моделей устойчивого землепользования основывается на представлении об устойчивости как эмерджентном, пространственно- и временно- обусловленном свойстве системы землепользования. Формирование этого свойства зависит от функциональной согласованности комплекса практик, ресурсного потенциала земель, действующих неблагоприятных воздействий и потенциальных рисков деградации. Обоснование моделей УЗП требует учёта принципов системности, территориальной обусловленности и адаптивности; их эффективность определяется прежде всего способностью обеспечивать достижение НБДЗ и сохранение положительных изменений состояния земель во времени.
2. НБДЗ выступает основным целевым ориентиром и главным интегральным критерием устойчивого землепользования. Однако, достижение НБДЗ само по себе не устанавливает причины наблюдаемых изменений и не доказывает полноту её социально-экономической и институциональной устойчивости.
3. На основе ресурсного подхода обосновано формирование моделей землепользования посредством совместного анализа природного и антропогенно расширенного потенциала земель, действующих неблагоприятных воздействий и потенциальных рисков деградации. Соотношение этих характеристик позволяет определять функциональные ограничения, потребность во взаимодополняющих практиках и различия между природно обусловленными, поддерживаемыми, расширенными и неустойчивыми моделями.
4. При высокой пространственно-временной изменчивости оценка НБДЗ относительно фиксированной базовой линии должна дополняться динамической диагностикой. Анализ последовательных интервалов, повторяемости категорий изменений и регрессионных характеристик позволяет выявлять устойчивые тенденции и обосновывать управленческие приоритеты. Полученные результаты служат основой оценки эффективности моделей с учётом причин изменений, а также информационной предпосылкой прогнозно-сценарного анализа, стратегического планирования и адаптивной корректировки.
5. Формирование и применение моделей УЗП определяются принципами системности, территориальной обусловленности и адаптивности. Для их реализации используются параметризация и функциональная типологизация, семантическое моделирование и инфологическая структура «практики — объекты — алгоритмы локализации», связывающая условия применимости и совместимости практик с характеристиками территории.

Степень достоверности результатов

Достоверность результатов обеспечивается согласованностью теоретических положений, методов исследования и эмпирической основы, использованием взаимодополняющих источников информации и сопоставлением результатов на объектах различного пространственного уровня. Информационная основа включает международные и отечественные базы данных, материалы дистанционного зондирования Земли, картографические и статистические сведения, результаты собственных и совместных полевых исследований. Их совместная интерпретация позволяет учитывать природно-хозяйственную специфику объектов и уточнять содержание изменений, выявляемых посредством глобальных прокси-индикаторов.

Методические положения исследования соотнесены с международно признанной научной концептуальной основой НБДЗ и руководствами по расчёту индикатора ЦУР 15.3.1 (Orr et al., 2017; Sims et al., 2021; Teich et al., 2025). Сопоставимость оценок обеспечивается согласованием пространственных границ, периодов анализа, состава показателей и правил интерпретации. Разграничение объекта землепользования, отдельной практики и модели как формализованного представления комплекса практик исключает прямое перенесение частного положительного эффекта мероприятия на оценку устойчивости всей территориальной системы.

Устойчивость диагностических оценок к выбору периода наблюдений исследуется посредством сопоставления последовательных перекрывающихся временных окон, анализа повторяемости диагностических категорий и регрессионных характеристик изменения долей деградированных и улучшенных земель. Повторяемость характеризует воспроизводимость классификации при изменении периода анализа; перекрывающиеся окна при этом не рассматриваются как независимые наблюдения. Динамическая диагностика дополняет оценку относительно фиксированного исходного состояния, сохраняя возможность проверки достижения установленных целей НБДЗ.

Обоснованность интерпретации результатов повышается сопоставлением дистанционных оценок с характеристиками природного потенциала, действующих воздействий, рисков деградации и условий применения практик. Апробация на контрастных объектах России и Центральной Азии позволяет определить возможности и границы применения предложенного подхода. Выявленные пространственные связи рассматриваются с учётом природной изменчивости и хозяйственного контекста; их наличие само по себе не трактуется как доказательство причинного эффекта отдельных мероприятий.

Достоверность выводов поддерживается также явным разграничением наблюдаемых изменений состояния земель, экспертных оценок и сценарных предположений. Предполагаемая результативность рекомендуемых комплексов практик отделяется от фактически подтверждённого результата, устанавливаемого в ходе последующего мониторинга. Пороговые значения и экспертные шкалы используются в пределах условий их апробации и требуют дополнительной калибровки при переносе на другие территории. Такой порядок обоснования выводов позволяет учитывать неопределённость исходных данных и ограничивать обобщения областью, подтверждённой материалами исследования.

Апробация результатов исследования

Основные положения и результаты исследования прошли апробацию в научных публикациях, докладах на международных и российских научных мероприятиях, при выполнении международных и национальных проектов по устойчивому землепользованию, оценке нейтрального баланса деградации земель и адаптации к изменению климата. Образовательная и научно-методическая апробация осуществлялась в процессе преподавания, руководства студенческими исследованиями и подготовки аналитических и методических материалов для России и стран Центральной Азии.

Научная апробация осуществлялась на IV и VII съездах Общества почвоведов им. В. В. Докучаева (Новосибирск, 2004; Белгород, 2016), XX Всемирном конгрессе почвоведов (Чеджу, 2014), конгрессе EUROSOIL (2021), Генеральной ассамблее EGU (Вена, 2015), конференциях Международного географического союза (Москва, 2015, 2018), II и III Научных конференциях КБО

ООН (Бонн, 2013; Канкун, 2015), симпозиуме «Степи Северной Евразии» (Оренбург, 2015), конференциях «Опустынивание Центральной Азии: оценка, прогноз, управление» (Астана, 2014), «Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование» (Москва, 2019, 2022), «Рациональное природопользование: традиции и инновации» (Москва, 2022), «Мелиорация земель в решении геоэкологических проблем Евразии» (Москва, 2023), «Роль почв в биосфере и жизни человека» (Москва, 2025), а также на конференциях по ландшафтной экологии, климатическим изменениям, почвенным ресурсам и устойчивому развитию.

Прикладные и методические результаты обсуждались в рамках мероприятий 14-й, 15-й, 16-й и 17-й сессий Конференции сторон КБО ООН (2019-2026), в рамках работы проекта КБО ООН и Глобального Механизма КБО ООН по установке достижения целей НБДЗ в России (2016-2019), Первого глобального форума по НБДЗ (Сеул, 2018), заседаний группы G20 (Токио, 2019), заседаний межрегиональной группы КБО ООН DLDD-NEAN (Пекин, 2017; Сеул, 2018; Улан-Батор, 2019, Пекин, 2022, Москва, 2026), международного симпозиума (Аддис-Абеба, 2019) и встреч сети WOCAT (2017-2023), заседаний межрегиональной группы КБО ООН Россия-Центральная Азия (2019-2026), глобальных почвенных симпозиумов ФАО (2017, 2019, 2021), международных экспертных и обучающих семинаров по НБДЗ, устойчивому управлению земельными ресурсами, экологическим показателям ЦУР и подготовке национальной отчётности.

Автором самостоятельно и в соавторстве разработаны и преподавались на факультете почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова учебные курсы по устойчивому землепользованию, деградации и опустыниванию земель, агроэкологическому картографированию и управлению окружающей средой. Основная образовательная апробация осуществлялась в МГУ в рамках лекционных и семинарских занятий в 2010–2018 гг. и учебной почвенно-экологической практики по устойчивому землепользованию в 2015–2019 гг. Автором осуществлялось научное руководство и совместное руководство выпускными квалификационными и курсовыми работами студентов бакалавриата и магистратуры. В 2015–2022 гг. подготовлены пять выпускных квалификационных работ и одна курсовая работа по вопросам опустынивания, оценки НБДЗ, динамики сельскохозяйственных земель, пространственного анализа практик УЗП и их вклада в углеродный баланс. Эти работы характеризуют применение отдельных диагностических, расчётно-аналитических и картографических подходов в учебно-исследовательской деятельности.

Отдельные положения исследования были представлены автором в качестве приглашённого лектора в МГИМО и Национальном университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Дополнительным результатом участия автора в совместных исследованиях стало развитие глоссария терминов по деградации земель, УЗП, НБДЗ и моделированию, а также подготовка аналитических и методических материалов для специалистов и научно-экспертного сопровождения проектов. Их значение заключается в согласовании терминологии и систематизации процедур диагностики, интерпретации данных и обоснования управленческих решений. Опыт преподавания и руководства студенческими исследованиями подтверждает образовательное применение соответствующих положений; расширенная методическая система представляет основу их дальнейшего использования в обучении и экспертной деятельности.

Личный вклад автора

Автором сформулированы концепция, цель и система взаимосвязанных задач исследования, разработана единая геоэкологическая схема, связывающая диагностику ресурсного потенциала, воздействий и рисков с параметризацией, типологизацией и локализацией моделей

землепользования и проверкой их совокупной результативности по критерию НБДЗ. Обоснованы взаимосвязи этих процедур и условия их применения к пространственно неоднородным и изменяющимся во времени системам землепользования.

Автором проведён критический анализ подходов к устойчивому землепользованию, выявлены ограничения оценки устойчивости по частным эффектам отдельных мероприятий. Развита понятийный аппарат: разграничены понятия объекта, практики и модели землепользования, определены их функции в обосновании территориально обусловленных решений. Устойчивость интерпретирована как эмерджентное, пространственно и временно обусловленное свойство системы, модель — как формализованное средство исследования и проектирования взаимосвязей практик и условий их применения. Обосновано согласование региональных стратегий, местных методов и технологий, локальных мероприятий с пространственными границами оценки совокупных изменений состояния земель.

В рамках совместных исследований автором внесён вклад в разработку ресурсного подхода к обоснованию моделей устойчивого землепользования. Самостоятельно выполнено концептуальное обобщение взаимосвязей природного и антропогенно-расширенного потенциала, неблагоприятных воздействий, рисков и восстановительных возможностей территории. Сформулированы требования к функциональной достаточности, взаимодополняемости и непротиворечивости комплексов мероприятий; обоснованы признаки разграничения природно обусловленных, поддерживаемых, расширенных и неустойчивых моделей. Определена роль самовосстановления и ресурсно-технологического обеспечения антропогенно-расширенного потенциала в сохранении устойчивости территориальной системы.

Автором систематизирован и географически интерпретирован обширный массив материалов о практиках землепользования в России и Центральной Азии, включающий результаты собственных и совместных исследований, полевых обследований, проектов, публикации и документированные описания мероприятий. Практики сопоставлены по природно-хозяйственным условиям, функциям, пространственному уровню и воздействию на земли. Разграничены единицы документирования, территории применения практик и пространственные единицы оценки НБДЗ. Обоснован совместный учёт состава, взаимодополняемости, пространственного охвата и продолжительности применения мероприятий при формировании моделей; пространственные связи отделены от причинных эффектов технологий.

Автором выполнены расчёты показателей НБДЗ и геоинформационный анализ состояния земель на национальном, региональном и локальном уровнях с использованием ГИС и Trends.Earth. Личный вклад включает согласование и обработку геопространственных данных, анализ изменений наземного покрова, продуктивности и запасов почвенного органического углерода, расчёт интегральных характеристик, картографирование и геоэкологическую интерпретацию результатов. Обосновано дополнение обобщённых показателей анализом долей и пространственного распределения деградированных, улучшенных и стабильных земель; развито использование Индекса НБДЗ как дополнительной характеристики направленности изменений. Определены возможности сопряжения глобальных субиндикаторов с национальными и локальными данными для выявления территориальной неоднородности, ограничений агрегированных оценок и приоритетов управления.

Автором обоснован параметрический подход к анализу объектов и практик землепользования, объединяющий ресурсный потенциал, воздействия, риски деградации, способность к

самовосстановлению и условия реализации мероприятий. Разработана система генерализованных параметров, сопряжённая с ресурсным подходом и функциональной типологией моделей. Самостоятельный методологический вклад состоит в её использовании для согласованного описания объектов и практик, выявления функциональных ограничений и обоснования взаимодополняющих комплексов мероприятий. Разграничены параметры семантической модели и индикаторы фактической результативности.

В собственных и совместных исследованиях автором построены, сопоставлены и интерпретированы семантические модели пастбищного, пахотного и природоохранного землепользования. Выявлены территориальные и функциональные различия механизмов устойчивости при едином способе параметрического описания. Развито использование лепестковых диаграмм для сравнения исходных и перспективных вариантов, выявления недостаточно охваченных воздействий и рисков, обоснования дополнительных мероприятий. Установлено, что экспертная оценка согласованности комплекса практик служит основанием проектирования модели, но не заменяет независимой проверки её совокупной результативности.

Автором обосновано использование НБДЗ как интегрального геоэкологического критерия результативности моделей при сохранении самостоятельного значения социально-экономических и институциональных условий устойчивости. В совместных исследованиях выполнены анализ и интерпретация временных рядов показателей НБДЗ с применением регрессионного подхода, оценены направленность и скорость изменений, разграничены типы динамики и построены условные прогнозные траектории. Самостоятельный вклад состоит в сопряжении регрессионных характеристик с геоинформационным анализом, последовательными временными оценками и повторяемостью диагностических категорий. Обоснован переход от оценки баланса за отдельный период к анализу траектории состояния земель и корректировке моделей.

Автором сформулированы основания перехода от каталогизации практик к формированию, типологизации и локализации моделей, адаптированных к ресурсным возможностям, воздействиям и рискам конкретных территорий. Эти положения развиты в научную основу реестра моделей; разработанная в последующих совместных исследованиях инфологическая структура обеспечивает их информационную формализацию. Самостоятельный вклад автора заключается в определении содержательных требований к моделям и их локализации, сопряжении этих процедур с динамической верификацией и экспертной корректировкой.

Автором выполнены методическое сопровождение применения ЕХ-АСТ и геоэкологическая интерпретация результатов совместных исследований углеродного баланса, включая подготовку исходных данных, задание параметров землепользования и управленческих сценариев, анализ расчётных выбросов и поглощения парниковых газов. Определено место углеродного баланса в комплексной оценке моделей; разграничены расчётный климатический эффект, изменения природного капитала земель и результативность по критерию НБДЗ.

Автором сформулированы принципы применения результатов в территориальном планировании, планах управления, обосновании компенсационных мероприятий и конструировании климатически ориентированных моделей. Предложено сопряжение диагностики, локализации, мониторинга и корректировки в концептуальной архитектуре реестра и цифровой системы поддержки принятия решений. Разграничены результаты апробации, методические предложения и направления дальнейшей реализации.

Самостоятельное научное содержание работы определяется разработанным автором оригинальным геоэкологическим подходом, связывающим ресурсную обусловленность и иерархическую организацию моделей с пространственно-временной проверкой совокупной результативности их применения, а также методологическим развитием и объединением результатов собственных и совместных исследований в единую исследовательскую схему.

Соответствие диссертации научной специальности

Диссертация соответствует научной специальности 1.6.21. Геоэкология по предмету, методологии и содержанию полученных результатов. Исследование направлено на развитие научных основ рационального использования и охраны земельных ресурсов, диагностики деградационных изменений и геоэкологического обоснования управленческих решений. В работе сопряжены оценка ресурсного потенциала, действующих воздействий и потенциальных рисков, моделирование территориально обусловленных комплексов практик, геоэкологический мониторинг и пространственно-временная верификация результативности землепользования. Применение геоинформационных методов и материалов дистанционного зондирования обеспечивает количественную оценку и картографический анализ изменений состояния земель на различных пространственных уровнях.

Географическая направленность исследования определяется рассмотрением землепользования в контексте пространственной организации, природно-ландшафтной дифференциации и динамики земель. Центральное значение имеют территориальная обусловленность управленческих решений, согласование локального, местного и регионального уровней анализа, учёт взаимосвязей между участками и охватывающими их системами. Научные результаты раскрывают зависимость применимости и результативности моделей от сочетания природных условий, хозяйственных воздействий, пространственного масштаба и временного горизонта оценки. Тем самым работа развивает геоэкологические основания перехода от анализа отдельных мероприятий к исследованию целостных территориальных систем и обоснованию адаптивного управления земельными ресурсами.

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации автором опубликовано самостоятельно и в соавторстве 110 работ, в том числе 41 научная статья в журналах, 29 глав и статей в коллективных изданиях и сборниках, 18 тезисов докладов, 20 монографических, научно-методических и справочных изданий, включая научные доклады, и 2 информационно-аналитические и научно-популярные работы. В приведённый в автореферате список основных публикаций включены 25 статей в рецензируемых научных журналах, представленных в Web of Science, Scopus и/или RSCI. Публикационный массив автора включает 33 статьи в журналах перечня ВАК, в том числе 14 статей в журналах категорий K1 и K2: 7 — K1 и 7 — K2. Число цитирований составляет: Scopus — 325, Web of Science — 71, РИНЦ — 1516.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, восьми тематически взаимосвязанных частей, заключения, списка литературы и приложений. Части подразделяются на разделы и подразделы. Логика построения соответствует последовательности «глобальные и теоретические основания — НБДЗ как критерий — анализ практик — моделирование — реестр — динамическая оценка — практическое применение».

Схема диссертационного исследования

От глобальных вызовов к моделям, динамической верификации и практическому применению



Рисунок 2 — Логическая схема диссертационного исследования

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

При построении диссертации была принята логика, в соответствии с которой основная часть организована в восемь последовательно связанных частей. Первая и вторая части формируют проблемное и теоретическое поле; третья обосновывает концепцию НБДЗ как методологический критерий; четвертая переводит теоретические положения в эмпирический анализ практик; пятая и шестая посвящены моделям и принципам их систематизации; седьмая развивает пространственно-временную оценку эффективности; восьмая раскрывает направления практического применения.

Часть 1. Устойчивое землепользование в системе глобальных вызовов

Раздел 1.1. Современные глобальные вызовы, определяющие проблему устойчивого землепользования

В подразделе 1.1.1 на основе историко-научного анализа выделены этапы эволюции взглядов на деградацию земель — от локальных проявлений истощения почв и эрозии до понимания проблемы как глобального системного вызова. По результатам обобщения научных источников раскрыта противоречивость последствий интенсификации: промышленная и аграрная интенсификация XX века, расширение ирригации, механизация и химизация позволили увеличить производство, но одновременно усилили нагрузку на почвы, водные ресурсы и биоту. Этапами институционального осмысления проблемы стали Конференция ООН по опустыниванию 1977 г., Саммит Земли 1992 г. и развитие трех «конвенций Рио-де-Жанейро» — КБО ООН, РКИК ООН и КБР. Параллельно менялись методы оценки деградации: от экспертного картографирования GLASOD к LADA, дистанционным временным рядам и современным глобальным обзорам (Oldeman et al., 1991; Зонн, Куст, Андреева, 2017, FAO, 2011; IPBES, 2018; UNCCD, 2022, Hartmann, ..., Andreeva et al., 2024).



Рисунок 3 — Развитие международных подходов к оценке деградации земель и устойчивого землепользования.

В подразделе 1.1.2 определено соотношение демографического фактора, структуры потребления и продовольственной безопасности в формировании негативного воздействия на земельные ресурсы. Смысл анализа состоит не в сведении деградации к росту населения, а в выявлении сочетания численности, потребительских моделей, ресурсной емкости рациона и способа организации агропродовольственных систем. Поэтому задача устойчивого землепользования формулируется как поиск способов удовлетворения общественных потребностей без подрыва

способности земель поддерживать продуктивность и экосистемные функции в долгосрочной перспективе (Tilman et al., 2002; IPBES, 2018).



Рисунок 4 — Концептуальные взаимосвязи демографических, климатических и хозяйственных факторов деградации земель и её последствий.

В подразделе 1.1.3 раскрывается двусторонняя связь между изменением климата и деградацией земель. Климатическая изменчивость влияет на водный баланс, частоту засух, пожаров и эрозионных событий, меняет сезонность и продуктивность растительности; в обратном направлении землепользование определяет величину запасов углерода, альбедо, влагооборот и устойчивость экосистем. Из этого следует, что оценка землепользования должна учитывать не только фактическое состояние, но и климатически обусловленную уязвимость и способность системы адаптироваться к меняющемуся фону (IPCC, 2019; Sanz et al., 2017, Андреева и др., 2022, Куст, Лобковский, Андреева и др., 2024, Rackelmann, ..., Andreeva et al., 2024).

В подразделе 1.1.4 на основе сопоставления подходов к оценке масштабов и скорости деградации определены их диагностические возможности и ограничения. Экспертная модель GLASOD обеспечила первое глобально сопоставимое представление, LADA/WOCAT расширила анализ за счет связи состояния земель с практиками управления, а современные платформы дистанционного мониторинга обеспечили регулярность и воспроизводимость расчетов. При этом переход к спутниковым данным не устранил методологические проблемы: прокси-индикаторы могут отражать несколько процессов одновременно, а одинаковые спектральные тренды — иметь различную причинную природу. В диссертации этот вывод используется как аргумент в пользу сочетания глобальной сопоставимости с национальной и локальной интерпретацией (Славко, ..., Андреева и др., 2014; Kust, Andreeva et al., 2018).

Таблица 1 — Эволюция подходов к оценке деградации земель

Этап / подход	Основная единица оценки	Преимущество	Ключевое ограничение
GLASOD	Экспертно выделяемые ареалы деградации	Глобальная сопоставимость и первый системный обзор	Субъективность экспертных оценок, статичность
LADA / WOCAT	Состояние земель + технологии/подходы	Связь деградации с управлением и практиками	Неравномерность покрытия и зависимость от качества локальных данных
Дистанционные временные ряды / Trends.Earth	Пиксель и его динамика по прокси-индикаторам	Регулярность, воспроизводимость, широкое пространственное покрытие	Необходимость локальной интерпретации, чувствительность к масштабу и базовому периоду

Раздел 1.2. Роль земельных ресурсов в достижении Целей устойчивого развития

В подразделе 1.2.1 раскрыто системообразующее значение земельных ресурсов для взаимосвязанного достижения целей Повестки-2030. Связь ЦУР 15.3 с продовольственной безопасностью, водообеспечением, климатическим регулированием, бедностью и сохранением биоразнообразия показывает, что деградация земель имеет межсекторальные последствия. Тем самым достижение НБДЗ трактуется не как автономная природоохранная задача, а как условие согласованного движения по нескольким ЦУР (Kust, Andreeva et al., 2017, Hartmann, ..., Andreeva et al., 2024).

В подразделе 1.2.2 определены условия перевода глобальных целей в национальные механизмы управления: международные цели становятся осуществимыми (операциональными) только при их сопряжении с системами мониторинга, территориальным планированием, отраслевыми стратегиями и экономическими механизмами. Для дальнейшего исследования важен вывод о необходимости «перевода» глобальных индикаторов в язык конкретных объектов землепользования и управленческих решений (Лобковский, Куст, Андреева, 2023; Лобковский, Андреева, Куст, 2022).

Раздел 1.3. Значение проблемы для Российской Федерации

В подразделе 1.3.1 выделены особенности природно-хозяйственной дифференциации России, определяющие требования к локализации моделей и интерпретации показателей деградации: большие пространственные масштабы, природно-зональная неоднородность, сочетание интенсивно используемых сельскохозяйственных территорий с обширными пастбищными, лесными, аридными, бореальными и постагрогенными системами. Такая структура делает методологически рискованным прямое перенесение единых глобальных порогов без учета регионального контекста. Существенное значение имеют эрозия, дефляция, засоление, дегумификация, пастбищная деградация и трансформация растительного покрова, однако их представленность в государственных и ведомственных системах учета неодинакова (Андреева, Куст, 2020; Kust, Andreeva et al., 2022).

В подразделе 1.3.2 на основе анализа участия России в процессах по КБО ООН и ЦУР 15.3 определены методические требования к согласованию международных и национальных оценок. В качестве методического вызова выделяется необходимость согласования международной сопоставимости с национальными источниками данных. Эта постановка непосредственно подводит

к необходимости последующего анализа НБДЗ и задачам адаптации глобальной методологии к природно-хозяйственным условиям страны (Лобковский, Андреева, Куст, 2022).

Часть 2. Теоретические основы устойчивого землепользования

Раздел 2.1. Понятие и концепция устойчивого землепользования

В подразделе 2.1.1 на основе критического анализа выявлена методологическая неоднозначность трактовки термина «устойчивое землепользование» (УЗП; Sustainable Land Management, SLM). В научной и прикладной литературе последних десятилетий этот термин используется для обозначения концепции, цели и процесса управления земельными ресурсами, системы принципов и методов, а также совокупности «лучших практик». Смешение указанных смысловых значений затрудняет разграничение управленческих действий и критериев оценки их результативности. Эта многозначность отражает эволюцию представлений — от рационального и эффективного использования ресурсов к необходимости одновременного поддержания производственного потенциала и экологических функций земель (Smyth, Dumanski, 1993; Dumanski, Pieri, 2000). Определено значение этой многозначности для построения исследовательской схемы: смысловая широта термина полезна для междисциплинарного диалога, но затрудняет проверку устойчивости и сравнение результатов (Andreeva et al., 2021; Куст, Андреева и др., 2024).

В подразделе 2.1.2 развито содержание базовых категорий концепции УЗП применительно к геоэкологическому моделированию. Земля рассматривается в широком значении как биопродуктивная система, включающая почву, воду, растительность, биомассу и связанные экологические и гидрологические процессы, а не только как участок недвижимости или средство производства (UNCCD, 1994). Категория устойчивости связывается со способностью системы сохранять функции, сопротивляться нарушениям и восстанавливаться после них. Природный потенциал характеризует исходные возможности территории, а антропогенно-расширенный потенциал — возможности, созданные или поддерживаемые человеком посредством мелиорации, инфраструктуры и других воздействий. Деградация земель рассматривается как антагонист сохранения такого потенциала (Куст, Андреева и др., 2024).

Обосновано разграничение объекта землепользования как реально существующего целостного ландшафтно-хозяйственного объекта с определенными границами на местности, практики землепользования как определённого технологического или управленческого действия и модели землепользования как формализованного представления функционально согласованного комплекса практик и условий его применения. Модель устойчивого землепользования отличается целевой направленностью на сохранение или восстановление функций земель и достижение НБДЗ; наличие соответствующих практик само по себе не подтверждает её эффективность (Andreeva et al., 2021; Андреева и др., 2022).

В подразделе 2.1.3 определено место ILUP, ILM и SLUS в контексте развиваемой концепции устойчивого землепользования. Для целей исследования эти подходы соотнесены с различными аспектами научного обоснования решений: согласованием альтернатив использования территории, организацией взаимодействия участников управления и оценкой целостной системы землепользования. Авторская концепция конкретизирует геоэкологический аспект данного соотношения через модель как формализованное представление комплекса практик, согласованного с потенциалом, воздействиями и рисками определённого объекта. Адаптивно-ландшафтное, органическое и регенеративное земледелие, почво- и водоохранные технологии служат источниками

решений, включаемых в модель с учётом условий их применимости (Hartmann, ..., Andreeva et al., 2024; Rackelmann, ..., Andreeva et al., 2024).

Принцип территориальной обусловленности моделей УЗП требует соответствия комплекса практик характеристикам конкретного объекта, уровню принятия решений, природным ограничениям и рискам. Его методическая реализация включает локализацию модели, а последующая динамическая диагностика позволяет оценить результативность и установить основания для проверки эффективности в заданных пространственно-временных условиях. При переходе между уровнями учитываются совместимость моделей, перенос воздействий и согласованность результатов (Andreeva et al., 2021; Андреева и др., 2023; Kust, Andreeva, Shklyayeva, 2023; Kust, Andreeva et al., 2023).



Рисунок 5 — Согласование природных ограничений и хозяйственных целей в концепции устойчивого землепользования.

Раздел 2.2. Индикаторы и источники информации об устойчивости землепользования

В подразделе 2.2.1 на основе сопоставления определены условия совместного использования индикаторных систем деградации и устойчивости — от GLASOD и LADA до современных спутниковых подходов, а также отечественных разработок мониторинга и адаптивно-ландшафтной оценки. Сопоставление выявляет устойчивый методологический компромисс: глобальные системы выигрывают в сопоставимости, но теряют локальную специфику; национальные и отраслевые системы содержательно детальны, но отличаются набором параметров, периодичностью и единицами учета (Андреева, Куст, 2020; Лобковский, Андреева, Куст, 2022; Kust, Andreeva et al., 2023).

В подразделе 2.2.2 на основе анализа баз данных и реестров практик, прежде всего WOCAT, выявлены ограничения каталогизации для формирования территориально обусловленных моделей. Их достоинством является накопление стандартизированного эмпирического знания о технологиях и подходах УЗП. Ограничение заключается в том, что каталогизация отдельных успешных решений не отвечает на вопрос, как формировать из них согласованную систему для конкретного объекта и как верифицировать ее результат в пространственно-временном масштабе (Liniger et al., 2011; Andreeva et al., 2021; Andreeva et al., 2022, WOCAT, 2024).

Таблица 2 — Сравнительная роль основных источников информации в оценке устойчивости землепользования

Источник / система	Что описывается	Сильная сторона	Недостаток для задач диссертации
GLASOD, LADA	Типы и интенсивность деградации	Систематизация процессов деградации	Ограниченная связь с конструированием моделей управления
WOCAT	Технологии и подходы УЗП	Стандартизированное описание практик	Единицей учета остается практика, а не целостная модель
ГМЗ и отраслевые системы РФ	Состояние земель и отдельные свойства	Высокая содержательная детализация	Фрагментарность и неодинаковая пространственная сопоставимость
НБДЗ / ЦУР 15.3.1	Наземный покров, продуктивность, почвенный углерод	Единая международная рамка и повторяемость	Необходимость национальной калибровки и интерпретации

Раздел 2.3. Современные проблемы и перспективы развития концепции УЗП

В подразделе 2.3.1 выделены и систематизированы методологические противоречия, определяющие необходимость перехода от оценки отдельных практик к моделированию территориальных систем. Первое связано с масштабированием: успешный локальный прием не гарантирует сохранения эффекта на уровне хозяйства, ландшафта или региона. Второе — с верификацией: положительная динамика одного показателя может сопровождаться ухудшением другого. Третье — с иерархией: устойчивость на разных пространственных уровнях формируется разными сочетаниями практик. Четвертое — с компромиссами между продуктивностью, экологическими функциями, экономической отдачей и социальными целями (Thomas et al., 2018, Andreeva et al., 2021; Андреева, Куст, Лобковский, 2022).

В подразделе 2.3.2 обоснован переход от выявленных проблем к системному формированию моделей УЗП. Центральная гипотеза состоит в том, что достижение НБДЗ может служить главным интегральным критерием эффективности моделей УЗП при корректной оценке пространственно-временной и целевой направленности, содержательной интерпретации результатов (Kust, Andreeva et al., 2017; Андреева и др., 2022). Ландшафтные и интегрированные подходы обеспечивают понимание территориальных связей, а принцип территориальной обусловленности определяет необходимость согласования комплекса практик с объектом. Семантическое моделирование выступает инструментом их формализованного описания.

На основании проведённого анализа сформулированы взаимосвязанные предположения о системном и иерархическом характере устойчивости, возможностях ресурсного подхода, функциональной типологии моделей, принципе их территориальной обусловленности и необходимости динамической диагностики. Они определяют дальнейшую логику исследования — от анализа практик и формирования моделей к проверке эффективности и адаптивной корректировке.

От методологических проблем к концепции устойчивого землепользования



Рисунок 6 — Методологические основания развития концепции устойчивого землепользования.

Часть 3. Концепция нейтрального баланса деградации земель как методологическая основа

Раздел 3.1. Понятие и основные положения концепции НБДЗ

В подразделе 3.1.1 на основе анализа становления концепции НБДЗ — от идеи «нулевого чистого баланса деградации» к научно-политическим рамочным подходам, связанным с задачей ЦУР 15.3, — определено её методологическое значение для моделирования устойчивого землепользования. Сохранение или увеличение количества и качества земельных ресурсов, необходимых для поддержания экосистемных функций и продовольственной безопасности, рассматривается в концепции НБДЗ как измеримый ориентир в установленных пространственно-временных границах (Chasek et al., 2015; Orr et al., 2017). В диссертации на этой основе обоснован переход от оценки отдельных эффектов практик к проверке совокупной результативности их территориально обусловленных сочетаний по наблюдаемым изменениям природного капитала земель (Зонн, Куст, Андреева, 2017; Kust, Andreeva et al., 2017).

В подразделе 3.1.2 определено место иерархии мер «Предотвратить — Сократить — Восстановить» (Avoid — Reduce — Reverse), установленной в научной концептуальной основе НБДЗ (Orr et al., 2017), в развиваемой ресурсного подхода к обоснованию моделей устойчивого землепользования. Иерархия предусматривает приоритет предотвращения деградации перед сокращением действующих негативных процессов и восстановлением деградированных земель; уравнивание остаточных потерь и приобретений природного капитала осуществляется с учётом принципа «подобное за подобное» (Cowie et al., 2018). Вклад диссертационного исследования состоит в сопряжении этой иерархии с диагностикой потенциала земель, действующих воздействий и потенциальных рисков: такое сопряжение формирует геоэкологические основания выбора и пространственного сочетания взаимодополняющих практик, результативность которых подлежит последующей динамической верификации (Андреева и др., 2022).

В подразделе 3.1.3 рассмотрены три субиндикатора, используемые для установления доли деградированных земель (ЦУР 15.3.1): изменение наземного покрова, динамика продуктивности

земель и изменение запасов почвенного органического углерода. Проанализирован принцип one-out-all-out, согласно которому ухудшение хотя бы одного субиндикатора служит основанием для отнесения пространственной единицы к деградированной. Определены ограничения прокси-индикаторов, требующих содержательной интерпретации, особенно на локальном уровне (Sims et al., 2021). На основе проведённого анализа определены диагностические возможности и ограничения глобальной системы индикаторов НБДЗ применительно к оценке результативности моделей землепользования (Андреева, Куст, 2020; Kust, Andreeva et al., 2023).

НЕЙТРАЛЬНЫЙ БАЛАНС ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

Целевой ориентир • приоритеты действий • проверка результата



Рисунок 7 — Основные положения концепции НБДЗ и их сопряжение с развиваемой в диссертации концепцией: баланс потерь и приобретений, иерархия мер и система индикаторов.

Раздел 3.2. Устойчивое землепользование как основа достижения НБДЗ

В подразделе 3.2.1 обосновано разграничение функций УЗП и НБДЗ в исследовательской схеме: УЗП характеризует организацию действий, а НБДЗ — их результативность. Практики УЗП обеспечивают набор действий, посредством которых могут быть реализованы уровни иерархии НБДЗ, тогда как НБДЗ задает критерий результата. Превентивные практики связаны с охраной уязвимых земель, сохранением растительного покрова и предотвращением эрозии; корректирующие — со снижением действующей нагрузки; восстановительные — с реабилитацией деградированных участков. Поэтому формула «УЗП — путь, НБДЗ — критерий результата» используется в работе как методологический мост между практикой и оценкой.

В исследовательской схеме, разработанной на основании комплексного анализа, проведенного в Частях 1 и 2, НБДЗ задаёт критерий сохранения природного капитала, ресурсная диагностика определяет ограничения и риски, а модель связывает эти характеристики с комплексом практик.

Проверка фактических изменений состояния земель позволяет оценить результативность выбранного сочетания и выявить необходимость уточнения исходной диагностики, состава практик или условий их применения. Тем самым критерий НБДЗ включается в методологическую связь между формированием модели и обоснованием её корректировки.

В подразделе 3.2.2 по результатам сопоставления определены функции индикаторов УЗП и НБДЗ в оценке результативности моделей. НБДЗ предоставляет минимальный набор универсальных прокси-индикаторов, а УЗП располагает значительно более широким массивом параметров, включая эрозию, засоление, водообеспеченность, качество растительного покрова, технологические и управленческие характеристики. Обоснован принцип взаимодополняющего использования показателей: глобальные индикаторы следует рассматривать как базовую систему сопоставимых показателей, которая может и должна дополняться национальными и локальными показателями при сохранении прозрачности методики.

Таблица 3 — Соотношение глобальных индикаторов НБДЗ и дополнительных показателей для национальной и локальной интерпретации

Компонент	Глобальный прокси-индикатор НБДЗ	Примеры дополнительных показателей	Назначение
Наземный покров	Изменение класса/состояния покрова	Переходы между функциональными типами земель, фрагментация, состояние растительных сообществ	Выявление структурных изменений территории
Продуктивность	Многолетняя динамика растительности / продуктивности	Урожайность, проективное покрытие, кормовая продуктивность, фенология	Оценка функциональной динамики биопродуктивности
Почвенный углерод	Изменение запасов SOC	Гумус, эрозия, засоление, физические свойства почв	Характеристика долгосрочного состояния почвенного ресурсного потенциала
Национальные дополнения	—	Эрозия, засоление, пастбищная нагрузка, водный режим и др.	Уточнение причин и управленческой интерпретации

Раздел 3.3. НБДЗ как интегральный критерий устойчивости землепользования

В подразделе 3.3.1 проведён сравнительный анализ применения концепции и методики оценки НБДЗ на субнациональном уровне в России, Центральной Азии и Прикаспии. Определено значение этого уровня для выявления территориальных различий, сглаживаемых при национальном обобщении результатов. Обоснована необходимость сопряжения агрегированных оценок с картографическим анализом пространственного распределения деградации, улучшения и стабильного состояния земель. Такое сопряжение позволяет разграничить общую направленность изменений и их территориальную структуру: сходные значения сводного показателя могут соответствовать различным сочетаниям неблагоприятных и положительных процессов и, следовательно, требовать различных управленческих решений (Андреева, Куст, 2020; Kust, Durikov, Lobkovsky, Andreeva et al., 2022).

В подразделе 3.3.2 развит подход к обобщённой оценке направленности изменений состояния земель с использованием интегрального индекса НБДЗ, рассчитываемого как разность долей улучшенных и деградированных земель в пределах оцениваемой территории. Определены его аналитические возможности и границы применимости. Индекс НБДЗ позволяет сопоставлять территории по соотношению площадей положительных и отрицательных изменений при условии согласованности исходных данных, пространственных единиц и временных интервалов оценки. Вместе с тем одинаковые значения индекса могут формироваться при различном соотношении улучшенных, деградированных и стабильных земель. Поэтому предложено использовать его совместно с исходными субиндикаторами и картографической характеристикой изменений. Неотрицательное значение индекса само по себе не является достаточным подтверждением достижения НБДЗ: необходима проверка сопоставимости потерь и приобретений по типам земель и природному потенциалу (Kust, Andreeva, Cowie, 2017; Андреева О.В., Куст Г.С., 2020; Kust, Andreeva et al., 2023; Andreeva et al., 2026).

В подразделе 3.3.3 определены методические условия интерпретации оценок НБДЗ на локальном уровне. На примерах объектов Самарской и Курской областей, Самарской Луки, Приэльтонья и других объектов раскрыта необходимость соотнесения глобальных субиндикаторов с природными условиями, характером землепользования и спецификой действующих процессов деградации. Для содержательной интерпретации изменений предусмотрено привлечение сведений об эрозии, содержании гумуса, границах землепользования, охранном режиме и пространственном разрешении исходных данных. Сформулирован принцип согласования пространственной единицы диагностики с границами объекта управления и масштабом проявления оцениваемых процессов. Этот принцип определяет условия перехода от выявления изменений состояния земель к обоснованию решений для конкретной территории (Tsymbarovich, ..., Andreeva, 2020; Славко, Андреева, Куст, 2023; Беляева, Куст, Андреева, 2023).

В подразделах 3.3.4–3.3.6 развивается центральная гипотеза исследования о возможности использования НБДЗ для проверки совокупной результативности моделей землепользования. На этой основе обосновано разграничение устойчивого землепользования как способа взаимодействия общества с земельными ресурсами и НБДЗ как характеристики изменений их состояния. Их взаимосвязь не предполагает однозначного соответствия: положительная динамика природного капитала может быть обусловлена естественным восстановлением, тогда как применение отдельной экологически эффективной практики не гарантирует достижения НБДЗ в пределах охватывающей её территориальной системы. Сформулировано положение о необходимости раздельного установления наблюдаемого результата и объяснения механизмов его формирования. НБДЗ используется для проверки изменений природного капитала, а оценка вклада управленческих решений требует анализа сочетаний практик, условий их применения и сопутствующих природных и хозяйственных факторов (Kust, Andreeva et al., 2017). Сформулированный принцип положен в основу геоэкологической оценки адаптационных моделей: сохранение или восстановление природного капитала в изменяющихся климатических условиях рассматривается как необходимая составляющая подтверждения их результативности, дополняющая оценку социальных, экономических и институциональных условий адаптации (Sanz et al., 2017). В последующих авторских и совместных исследованиях это положение развито посредством сопряжения анализа практик землепользования с оценкой наблюдаемых изменений состояния земель по критерию НБДЗ

(Андреева и др., 2022; Kust, Andreeva, Shklyayeva, 2023, Rackelmann, ..., Andreeva et al., 2024). Полученные результаты обобщены в последующих разделах диссертации.

В подразделе 3.3.7 систематизированы источники неопределённости оценки НБДЗ и определены направления их методического учёта. Разграничены ограничения, обусловленные качеством и пространственным разрешением исходных данных, выбором единицы и масштаба оценки, интерпретацией переходов наземного покрова и инерционностью изменений запасов почвенного органического углерода (Kust, Andreeva et al., 2018; Андреева, Куст, 2020). Отдельно рассмотрены зависимость результатов от выбора базового периода (Лобковский, Куст, Андреева, 2020) и риск ошибочного отождествления роста вегетационных индексов, рассчитываемых по данным дистанционного зондирования, с восстановлением природного капитала земель. Для повышения обоснованности выводов предложено сопрягать глобальные субиндикаторы с дополнительными данными о ведущих процессах деградации и проверять согласованность результатов на разных пространственных уровнях (Андреева, Куст, 2020; Kust, Andreeva et al., 2023). Анализ устойчивости выявленных тенденций при сопоставлении временных интервалов определяет методологический переход к динамической оценке, представленной в Части 7 (Kust, Andreeva, Shklyayeva, 2023). При этом динамическая диагностика дополняет оценку относительно установленного базового уровня, сохраняющего самостоятельное значение для проверки достижения НБДЗ.



Рисунок 8 — Индекс НБДЗ и его место в оценке эффективности моделей устойчивого землепользования

Раздел 3.4. Ресурсный подход к геоэкологическому обоснованию моделей устойчивого землепользования

В подразделе 3.4.1 развито специальное применение ресурсного подхода к объяснению устойчивости моделей землепользования. Его основу составляет согласованный анализ природного и антропогенно расширенного потенциала земель, актуальных неблагоприятных воздействий и потенциальных рисков деградации. Ресурсный подход не предлагается как новое общенаучное направление; авторский результат состоит в его развитии для функционального обоснования и типологизации моделей УЗП (Kust, Andreeva, Cowie, 2016).

В подразделах 3.4.2–3.4.4 показано сопряжение ресурсного подхода с критерием НБДЗ и формированием моделей УЗП: НБДЗ характеризует направленность изменений земельного природного капитала, тогда как ресурсная диагностика позволяет интерпретировать условия этих изменений, выявлять ограничения, воздействия и риски. Такое разграничение создаёт основания для параметрического анализа практик в части 4, типологизации и формирования моделей в части 5 и процедур их локализации в части 6.

Часть 4. Анализ и систематизация практик устойчивого землепользования

В Части 4 выполнен эмпирический анализ условий, при которых применение практик устойчивого землепользования соотносится с сохранением и восстановлением природного капитала земель. Исследование направлено на проверку положения о недостаточности локальной результативности отдельных мероприятий для оценки устойчивости землепользования. Сопряжение инвентаризации, многопараметрического описания и картографического анализа практик с оценками состояния земель позволило определить основания перехода от документирования отдельных решений к формированию территориально обусловленных моделей землепользования.

Раздел 4.1. Источники данных и методология исследования практик УЗП

В подразделах 4.1.1–4.1.3 систематизирована информационная основа исследования: материалы всемирной базы данных WOCAT, региональных инициатив и международных проектов, отечественные и зарубежные научные публикации, проектная документация и сведения о применении практик на исследуемых территориях. Определены возможности совместного использования источников, различающихся по полноте описания, пространственной детализации и критериям результативности. Обоснована необходимость унификации описаний для сопоставления технологического содержания практик, условий их применения и наблюдаемых изменений состояния земель (Андреева и др., 2022).

В подразделе 4.1.4 разработана и применена методика многопараметрического описания практик, ориентированная на их последующее семантическое моделирование. Методика включает шестиблочный чек-лист: идентификацию практики; природно-ландшафтные условия; технологические параметры; социально-экономический контекст; сведения об эффективности, ограничениях и рисках; визуальную и картографическую документацию. Принципиальное значение имеет раздельная фиксация заявленных эффектов, наблюдаемых изменений и условий, ограничивающих применимость решения (Андреева и др., 2022).

Отбор объектов осуществлён с учётом разнообразия природно-ландшафтных условий и видов землепользования, наличия документированного опыта внедрения и возможностей полевой проверки. В информационную основу включены материалы полевых исследований, начатых в 2000-

е годы и активно продолженных в 2017–2022 годах: ландшафтно-почвенные и геоботанические обследования, интервьюирование землепользователей и фотодокументирование. Проверка сведений проводилась посредством сопоставления публикаций, проектных материалов, полевых данных и описаний международных баз. Подготовлена электронная база с идентификаторами записей, географической привязкой и возможностью использования в ГИС. Сформирован российский массив из 186 описаний практик землепользования, географически привязанных к 127 административным районам 37 субъектов Российской Федерации (Андреева и др., 2022). Унификация описаний и их картографическое представление обеспечили основу для анализа природно-ландшафтной приуроченности практик и условий их применимости. Отдельный центральноазиатский массив включает сведения о 261 площадке в Кыргызстане и Таджикистане и используется для сопоставления характеристик практик с оценками изменений состояния земель. Обоснованы принципы согласованного описания практик и условий их применения на основе ресурсной схемы «потенциал — воздействия — риски» (Andreeva et al., 2021). В диссертации эти положения развиты применительно к систематизации эмпирических материалов: характеристики мероприятий соотнесены с параметрами объектов, что создаёт основу для анализа территориальной применимости практик и выявления ограничений их использования.

Разработана классификация практик по взаимодополняющим признакам: отраслевой принадлежности, целевой направленности и степени детализации описания. По последнему признаку разграничены региональные способы и стратегии, местные методы и технологии, локальные мероприятия и действия. Такое разграничение создаёт основу для согласования разнородных описаний и установления связей между практиками, объектами их применения и моделями землепользования.



Рисунок 9. — Источники данных и структура информационной базы практик устойчивого землепользования.

Раздел 4.2. Результаты анализа и картографического представления практик УЗП

В подразделах 4.2.1–4.2.4 выполнены классификация и пространственный анализ документированных практик. По сфере применения разграничены практики на пахотных землях, пастбищных угодьях и лесных территориях; по целевой направленности — сберегающее земледелие, гидромелиорация, фитомелиорация и управление пастбищной нагрузкой.

Сопоставление географической привязки описаний с агроклиматическим и почвенно-экологическим районированием позволило охарактеризовать приуроченность практик к различным условиям увлажнения, почвенным и ландшафтным особенностям (Андреева и др., 2022).

В пределах исследованной выборки установлено преобладание сберегающих технологий и защитных насаждений в степных и лесостепных условиях, мероприятий по восстановлению растительности и регулированию выпаса — в сухостепных, полупустынных и горных условиях. Гидромелиоративные решения дифференцированы по характеру регулируемого водного режима. Полученные результаты использованы для характеристики природных предпосылок и ограничений применимости практик. При интерпретации пространственного распределения учтено, что концентрация документированных площадок характеризует также доступность сведений и географию проектной деятельности и не может непосредственно отождествляться с фактической распространённостью практик (Андреева и др., 2022).

В подразделе 4.2.5 обобщены материалы о площадках применения практик землепользования в Центральной Азии: 31 в Кыргызстане и 230 в Таджикистане, охватывающих соответственно 16 и 54 административных района. Выделены девять тематических групп: выращивание сельскохозяйственных культур; отгонное и загонное животноводство; садоводство; управление почвенным плодородием; управление водными ресурсами; агролесоводство; лесоразведение и лесовосстановление; противодействие эрозии и деградации; специализированные практики. Эта группировка конкретизирует состав исследованного материала и служит основанием для последующего анализа функциональной взаимодополняемости мероприятий.

В подразделе 4.2.6 дополнительно привлечены результаты расчётной оценки углеродного баланса площадок с использованием инструмента EX-АСТ для двадцатилетнего горизонта планирования (Андреева и др., 2022). В анализируемом массиве 149 площадок отнесены к категории с отрицательным расчётным углеродным балансом, 30 — к нейтральной и 82 — к категории с положительным расчётным углеродным балансом. Эти результаты использованы как дополнительная характеристика действия практик. Оценка углеродного баланса разграничена с оценкой НБДЗ: благоприятный расчётный углеродный эффект сам по себе не подтверждает улучшения всех характеристик земель, а расчётная эмиссия не является самостоятельным основанием для признания территории деградированной.

В подразделе 4.2.7 сопоставлены пространственное распределение практик и результаты диагностики состояния земель по глобальным субиндикаторам. Согласно приведённым в главе расчётам, в Кыргызстане за 2005–2020 годы доли деградированных и улучшенных земель составили соответственно 29,56 и 3,20 %, в Таджикистане за 2002–2020 годы — 29,51 и 14,72 % (Андреева и др., 2022). Эти значения характеризуют конкретные расчётные периоды и использованы для анализа соотношения положительных и отрицательных изменений внутри каждой территории. Различия временных интервалов и наличие площадей без данных ограничивают непосредственную сопоставимость национальных оценок.

ДОКУМЕНТИРОВАННЫЕ ПРАКТИКИ УСТОЙЧИВОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ



Рисунок 10 — Географическая привязка документированных практик УЗП: а — картографическое представление российского массива; б — состав исследованного массива Кыргызстана и Таджикистана. Обозначения характеризуют географию документирования, а не площадь внедрения практик.

Раздел 4.3. Эффективность практик в контексте достижения НБДЗ

В подразделах 4.3.1–4.3.2 выявлены случаи несоответствия между наличием документированных практик, результативных по отдельным показателям, и достижением нейтрального баланса деградации земель в пределах более крупных территорий. На исследованных объектах локальные положительные изменения сосуществуют с продолжающейся деградацией окружающих земель. Тем самым конкретизировано положение о необходимости согласования масштаба применения мероприятий с пространственными границами оценки их совокупного результата.

Определены четыре направления объяснения этого несоответствия: ограниченный пространственный охват мероприятий; недостаточная взаимодополняемость практик; различия временных масштабов проявления эффектов; несовпадение частных критериев результативности с критериями оценки НБДЗ. Эти факторы рассматриваются как основания дальнейшей проверки, поскольку их самостоятельный вклад не может быть установлен исключительно по пространственному совпадению ареалов практик и изменений состояния земель.

На отдельных территориях Кыргызстана и Таджикистана выявлено пространственное сочетание агролесоводческих, восстановительных и противоэрозионных мероприятий с локальным улучшением либо стабилизацией состояния земель. Полученные наблюдения поддерживают

рабочую гипотезу о значении функционального состава и территориального охвата комплексов практик. Вместе с тем они не устанавливают причинный эффект мероприятий без учёта исходного состояния земель, климатической изменчивости, различий хозяйственного использования и времени внедрения.

В подразделе 4.3.3 разработан и применён подход к параметрической декомпозиции практик землепользования, позволяющий определить, какие характеристики территориальной системы регулируются отдельными мероприятиями и какие ограничения сохраняются при их применении. Действие практик рассмотрено во взаимосвязи с потенциалом земель, актуальными неблагоприятными воздействиями, потенциальными рисками деградации и способностью системы к самовосстановлению и адаптации. Такой анализ позволяет оценить не только направленность мероприятий на сохранение ресурсного потенциала и снижение нагрузок, но и их значение для поддержания восстановительных возможностей территории. На этой основе определены функциональные возможности и ограничения практик, значимые для обоснования их взаимодополняющих сочетаний в моделях землепользования (Андреева, Куст и др., 2023; Андреева, Куст и др., 2024).

Таблица 4 — Параметрические блоки, использованные при параметрической декомпозиции практик УЗП

Группа параметров	Примеры характеристик	Роль в анализе практики
Потенциал земель	продуктивность, запасы углерода, водоудерживающая способность, структура почвы, биологическое разнообразие	Характеристика ресурсных предпосылок землепользования и их изменений
Актуальные неблагоприятные воздействия	Интенсивность водной и ветровой эрозии, пастбищная нагрузка, воздействие засух; выраженность засоления	Определение действующих нагрузок, процессов деградации и возможностей их регулирования
Потенциальные риски деградации	Климатические, технологические и социально-экономические факторы риска	Оценка условий возникновения или усиления неблагоприятных изменений
Самовосстановление и адаптация	Возобновление растительности, восстановление почвенных свойств, сохранение функций при изменении условий	Характеристика восстановительных и адаптационных возможностей территориальной системы

В пределах проанализированного материала не выявлено отдельной практики, обеспечивающей регулирование всех значимых параметров территориальной системы независимо от условий применения. Определённые для рассматриваемых мероприятий функциональные ограничения обосновывают необходимость их взаимодополняющего сочетания с учётом природного потенциала, действующих воздействий и рисков конкретного объекта. При этом функциональная взаимодополняемость рассматривается как основание формирования модели, а предполагаемый синергетический эффект требует самостоятельной проверки. Параметрическая декомпозиция тем самым формирует методическое звено между описанием отдельных практик и конструированием территориально обусловленных моделей землепользования (Андреева, Куст и др., 2023; Андреева, Куст, 2024).

В подразделе 4.3.4 сформулированы требования к переходу от систематизации практик к формированию моделей землепользования: территориальная определённость объекта, функциональная согласованность комплекса мероприятий и сопоставимость пространственно-временных границ его применения и оценки результата. Научно-методический результат Части 4 состоит в сопряжении унифицированного описания практик, пространственного анализа условий их применения и параметрической характеристики механизмов действия с оценками наблюдаемых изменений состояния земель. Полученные результаты создают эмпирическую и методическую основу для параметризации и типологии моделей, развиваемых в Части 5, и определяют требования к последующей проверке их совокупной результативности.



Рисунок 11. — Результаты анализа практик как основа формирования моделей устойчивого землепользования.

Часть 5. Модели устойчивого землепользования: теоретическое обоснование и типология

В Части 5 осуществлен принципиальный переход от анализа отдельных практик к описанию целостных моделей. Исходным является вывод Части 4: локально успешная технология не гарантирует устойчивость, если она не компенсирует другие ограничения и риски системы. Поэтому в работе была поставлена задача разработки понятийного и параметрического языка, позволяющего описывать не отдельное действие, а функционально согласованную модель землепользования.

Раздел 5.1. Понятийный аппарат и терминология

В подразделе 5.1.1 на основе сопоставления подходов к моделированию в природопользовании обоснован выбор семантического представления взаимосвязей объектов, практик и условий их применения. Семантическая модель в диссертации используется как формализованное описание смысла и связей между объектом, его свойствами, практиками и ожидаемым результатом. Это решение обусловлено неоднородностью исходных данных: часть характеристик имеет количественную форму, часть — категориальную, часть задается экспертно (Andreeva et al., 2021; Куст, Андреева и др., 2024).

В подразделе 5.1.2 описывается модель устойчивого землепользования, которая формируется с учётом ресурсного потенциала, воздействий и рисков и направлена на сохранение либо восстановление функций земель и достижение НБДЗ. Перенос типовой модели требует проверки её территориальной обусловленности и, при необходимости, процедур локализации (Andreeva et al., 2021; Непесов, Суслова, Куст, Андреева и др., 2025).



Рисунок 12 — Соотношение понятий «объект землепользования», «практика» и «модель»: формализация взаимосвязей, локализация и динамическая верификация.

Раздел 5.2. Объекты исследования и иерархические уровни их анализа

В подразделе 5.2.1 обосновано трёхуровневое представление практик землепользования, разграничивающее региональные способы и стратегии, местные методы и технологии, локальные мероприятия и действия. Предложенная иерархия связывает масштаб принятия решений со степенью детализации практик и условиями их реализации. На этой основе сформулирован принцип согласования управленческих целей, технологических решений и конкретных действий при формировании моделей землепользования. Разграничение уровней позволяет соотносить частные эффекты мероприятий с пространственными границами оценки совокупных изменений состояния земель (Куст, Андреева и др., 2019; Andreeva et al., 2021; Андреева, Куст и др., 2022).

В подразделе 5.2.2 охарактеризована эмпирическая основа исследования, сформированная на материалах многочисленных объектов России и всех пяти стран Центральной Азии — Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана и Узбекистана. Рассмотренные территории охватывают разнообразные природно-ландшафтные условия — от лесостепных и степных до

пустынных и горных, а также основные типы землепользования, включая богарное и орошаемое земледелие, пастбищное хозяйство, лесохозяйственные, агролесомелиоративные, природоохранные и восстановительные системы (Андреева, Себенцов и др., 2022; Kust, Durikov, Lobkovsky, Andreeva et al., 2022; Андреева и др., 2023; Kust, Andreeva, Shklyayeva, 2023).

Информационную основу составили результаты собственных полевых и экспедиционных исследований, материалы международных и национальных проектов, фондовые и ведомственные данные, научные публикации, базы данных WOCAT и CACILM, а также материалы дистанционного зондирования. Степень изученности объектов и полнота исходных данных различались. Наиболее систематизированную часть эмпирической базы составили рассмотренные в Части 4 массивы из 186 документированных практик для 37 субъектов Российской Федерации и 261 площадки в Кыргызстане и Таджикистане. При этом общая совокупность исследованных территорий была значительно шире указанных массивов (Андреева и др., 2022; 2023; Беляева, Куст, Андреева, 2023, Andreeva et al., 2026).

Предложен подход к сопоставлению объектов на региональном, местном и локальном уровнях, позволяющий анализировать взаимосвязи природного потенциала, действующих нагрузок, рисков деградации и используемых практик (Куст, Андреева и др., 2019; Андреева, Куст и др., 2022). Для углублённой апробации отдельных инструментов семантического моделирования выделены объекты с достаточной информационной обеспеченностью, представляющие контрастные природно-хозяйственные ситуации (Андреева, Куст и др., 2023; Андреева, Куст, 2024). Их выбор носил целевой характер и не предполагал формирования статистически репрезентативной выборки территорий.

Методологическое значение сформированной эмпирической базы определяется её географическим и функциональным разнообразием, позволившим выявить общие закономерности и территориально специфичные условия применимости практик УЗП. Это создало основу для перехода от анализа отдельных мероприятий к параметризации и конструированию целостных моделей землепользования (Андреева, Куст и др., 2022, 2023). При этом семантическая обоснованность модели разграничивается с подтверждением её результативности, требующим самостоятельной динамической проверки изменений состояния земель в контексте достижения НБДЗ (Eziz, Kust, Andreeva et al., 2026; Andreeva et al., 2026).

Иерархические уровни анализа объектов и формирования моделей землепользования

Россия и пять стран Центральной Азии

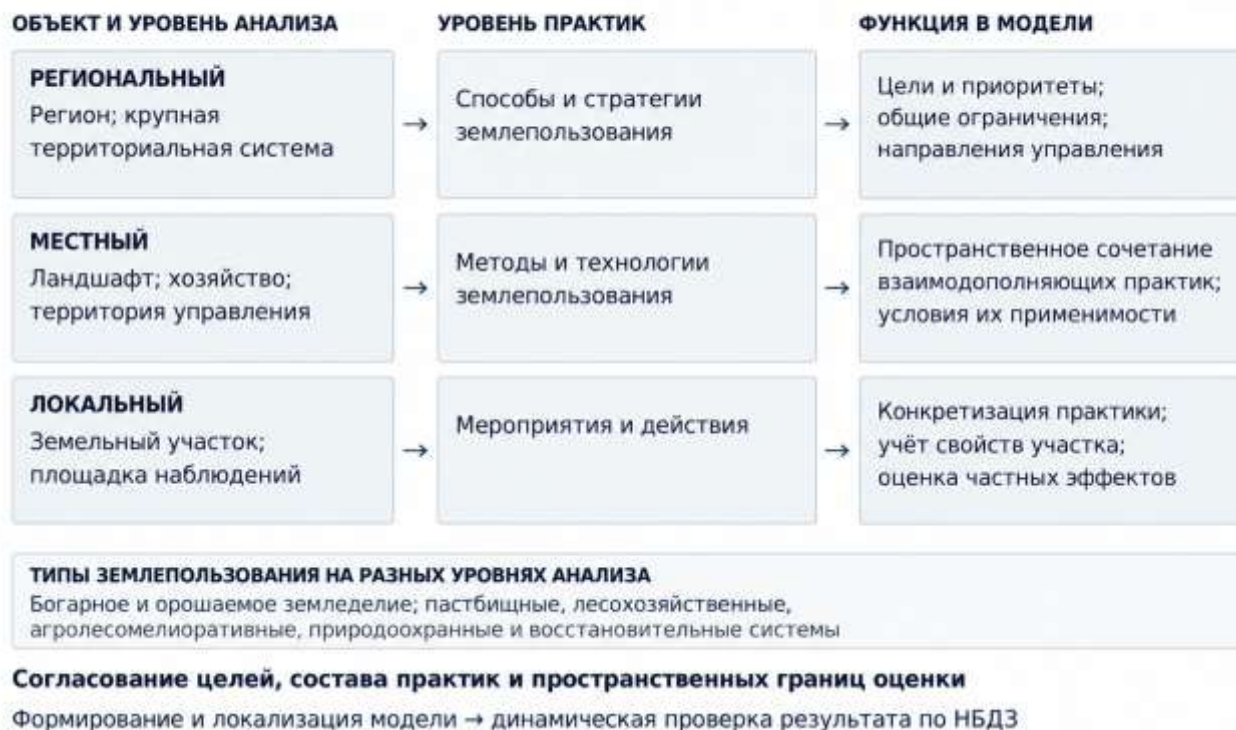


Рисунок 13 — Иерархические уровни анализа объектов исследования и формирования моделей устойчивого землепользования

Раздел 5.3. Параметризация устойчивого землепользования

В подразделе 5.3.1 обоснована и разработана параметрическая схема описания объектов и практик землепользования, опирающаяся на результаты их систематизации в Части 4 и ресурсный подход Части 3. Для сопоставления разнотипных объектов детализированные характеристики обобщены в четыре аналитических блока: потенциал земель — природный и антропогенно-расширенный; актуальные неблагоприятные воздействия природного и антропогенного происхождения; потенциальные природные и антропогенные риски; восстановительные возможности и условия поддержания модели. Последний блок объединяет для целей представления два самостоятельных параметра — способность системы к самовосстановлению и адаптации и достаточность социально-экономических условий реализации комплекса практик. Выделенные блоки образуют генерализованную основу согласованного описания объектов и мероприятий, сохраняя самостоятельное значение восьми параметров. Состав конкретизирующих характеристик остаётся открытым и детализируется с учётом природно-хозяйственной специфики, пространственного уровня анализа и задач управления, особенно при формировании моделей на местном и локальном уровнях.

Параметрическое описание моделей построено по иерархическому принципу, обеспечивающему сопоставимость обобщённых характеристик при сохранении связи с исходными показателями. Степень детализации определяется пространственным уровнем объекта и задачей

оценки. Такая организация позволяет учитывать локальные особенности деградационных процессов и одновременно сопоставлять модели в единой системе признаков.

Таблица 5 — Система параметров модели устойчивого землепользования

Группа	Генерализованный параметр	Смысловое содержание (пример)
1. Потенциал земель	Природный потенциал	Исходная способность территории обеспечивать продуктивность и экосистемные функции
	Антропогенно-расширенный потенциал	Дополнительные возможности, созданные орошением, дренажем, инфраструктурой и иными улучшениями
2. Актуальные воздействия	Актуальные природные воздействия; актуальные антропогенные воздействия	Текущая интенсивность деградационных факторов
3. Потенциальные риски	Природные риски; антропогенные риски	Предпосылки будущего ухудшения и уязвимость территориальной системы
4. Восстановление и адаптация	Способность к самовосстановлению	Способность системы восстанавливаться и сохранять функции при изменении условий
	Достаточность социально-экономических условий	Ресурсные, организационные и институциональные предпосылки реализации и поддержания комплекса практик

Раздел 5.4. Разработка типологии и классификации моделей УЗП

В подразделе 5.4.1 обоснована и предложена типология, включающая четыре класса моделей, различающихся по характеру использования, поддержания и преобразования ресурсного потенциала. *Природно обусловленное УЗП* характеризует системы, в которых требуемое состояние поддерживается главным образом высоким природным потенциалом и способностью к саморегуляции. *Поддерживаемое УЗП* предполагает регулярные меры, компенсирующие действующие нагрузки без радикального изменения природной основы. *Расширенное УЗП* опирается на значительный антропогенно созданный потенциал — например, орошение, дренаж или инженерную инфраструктуру — и потому особенно чувствительно к качеству управления и ресурсному обеспечению. *Класс неустойчивых моделей* (не-УЗП) объединяет варианты землепользования, в которых совокупная траектория ведет к потере природного капитала.

В подразделе 5.4.2 обоснован функциональный принцип классификации, согласно которому различение моделей основывается не на названии технологии или отрасли, а на функциональном соотношении параметров. Одна и та же практика может входить в модели разных классов в зависимости от природного фона, интенсивности применения и сочетания с другими действиями. Именно это различает семантическую типологию моделей и традиционные каталоги технологий.

Таблица 6 — Типология моделей землепользования, развиваемая в диссертации

Класс модели	Основной механизм поддержания состояния	Типичный риск	Отношение к НБДЗ
I. Природно обусловленное УЗП	Саморегуляция и высокий природный потенциал	Нарушение при превышении допустимой нагрузки	Предполагается поддержание природного капитала преимущественно естественными механизмами; требуется проверка НБДЗ
II. Поддерживаемое УЗП	Регулярные компенсационные и поддерживающие меры	Ослабление управления ведет к возобновлению деградации	НБДЗ возможен при устойчивом поддержании комплекса мер
III. Расширенное УЗП	Антропогенно созданный/расширенный потенциал	Зависимость от ресурсов, инфраструктуры и технологий	НБДЗ требует контроля побочных эффектов и рисков
IV. Не-УЗП	Эксплуатация без достаточной компенсации	Накопление потерь природного капитала	Долгосрочно несовместимо с НБДЗ

Раздел 5.5. Визуализация и анализ моделей УЗП на основе концепции НБДЗ

В подразделе 5.5.1 предложен и продемонстрирован разработанный в исследовании способ визуализации (графического представления) семантических моделей землепользования посредством лепестковых диаграмм. Он связывает параметрическую характеристику объекта с составом применяемых и рекомендуемых практик, позволяя выявлять охват характеристик территориальной системы отдельными мероприятиями, сохраняющиеся ограничения и возможности их преодоления. Использование такого представления позволяет обосновать функционально взаимодействующие сочетания практик, согласованных с условиями конкретного объекта.

Основу представления составляют генерализованные характеристики, расширяющие параметры, обоснованные ранее в разделе 5.3, например: природный и антропогенно-расширенный потенциал, актуальные природные и антропогенные воздействия, природные и антропогенные риски, способность к самовосстановлению и достаточность социально-экономических условий. Это показывает возможность расширения списка параметров моделей, отвечающих конкретным задачам. В опубликованной апробации применена экспертная шкала от 1 до 5 с обратным кодированием неблагоприятных воздействий и рисков, обеспечивающим единую направленность интерпретации.

Сопоставление базовой ситуации и перспективного варианта позволяет выявлять функциональную неполноту задействованного в модели комплекса практик и обосновывать его дополнение. Форма диаграммы и внешняя огибающая характеризуют охват параметров мероприятиями, а оценки перспективного варианта — предполагаемые изменения. Подтверждение совокупной результативности модели и достижения НБДЗ требует последующей динамической верификации по наблюдаемым изменениям состояния земель.

Параметрическое представление модели пастбищного землепользования

Объект «Балыкчи» · присельские пастбища в пустынных условиях

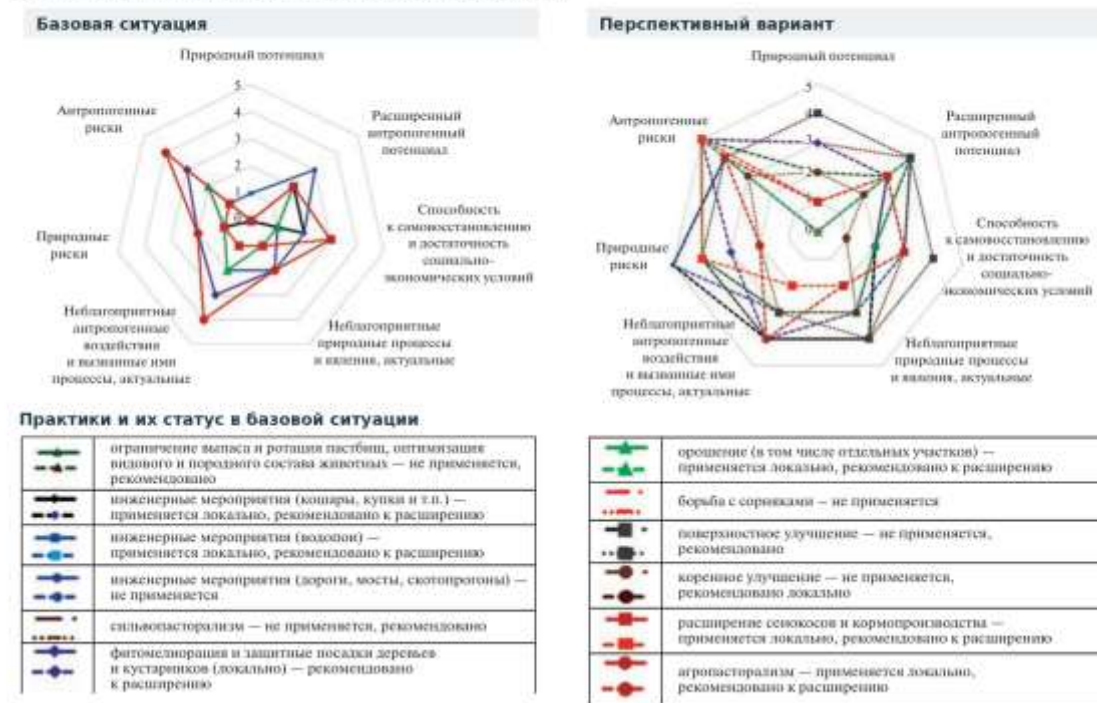


Рисунок 14 — Параметрическое представление модели пастбищного землепользования объекта «Балыкчи»: базовая ситуация и перспективный вариант с рекомендуемыми практиками (Андреева и др., 2023).

В подразделе 5.5.2 рассмотрен разработанный подход применительно к пастбищным, пахотным и природоохранным системам. На объектах в Кыргызстане выполнено сопоставление исходных условий, состава практик и направлений совершенствования управления. Для пустынных присельных пастбищ определено значение согласования нагрузки с ограниченным природным потенциалом; для степных — сочетания пастбищеоборота с поддерживающими мероприятиями; для субальпийских — регулирования сезонности использования и зарастания кустарником, восстановления кормовой растительности (Андреева и др., 2023). В рамках развиваемой концепции эти различия интерпретированы как территориально обусловленные требования к составу и взаимодополняемости практик.

Для пахотных земель Российского черноземья рассмотрены сочетания почвозащитных технологий, севооборотов, управления органическим веществом и агролесомелиорации с учётом эрозионных, климатических и технологических ограничений. Для особо охраняемых природных территорий рассмотрено сопряжение сохранения естественных процессов со снижением внешних нагрузок при разграничении охраняемой территории и прилегающих земель.

Научно-методическое значение проведённого сопоставления состоит в развитии единого способа представления территориально специфичных моделей через взаимосвязи потенциала, воздействий, рисков и восстановительных возможностей. Такой подход конкретизирует выбор взаимодополняющих практик и границы применимости решений, создавая основу для локализации моделей и их систематизации в реестре. Предполагаемая результативность управленческого варианта при этом разграничивается с её подтверждением в ходе динамической верификации.

Часть 6. Подходы к разработке реестра моделей устойчивого землепользования

В Части 6 осуществлен переход от типологии моделей к информационно-аналитической структуре, предназначенной для накопления и использования знаний. Исходная предпосылка состоит в том, что реестр должен хранить не только описания «лучших практик», но и обеспечивать процедуру формирования модели для конкретного объекта через сопоставление условий применимости, целей и ограничений.

Раздел 6.1. От единичных практик к системным решениям

В подразделах 6.1.1–6.1.4 выделены ограничения прямого тиражирования практик, подлежащие учёту при локализации моделей: контекстная зависимость результата, различия природного потенциала, несовпадение масштаба практики и объекта, институциональные ограничения, отсутствие взаимодополняющих мер. Поэтому каталог практик должен быть преобразован в реестр, где практика описывается не как универсальное решение, а как элемент возможных моделей с явно заданными условиями применимости.

На основании проведённого анализа обосновано расширение функционального назначения базы данных: от описания и систематизации практик — к информационно-аналитическому обеспечению формирования и локализации моделей устойчивого землепользования. Концептуальную основу этого перехода составляют разработанные подходы к разграничению объектов, практик и моделей, их параметрическому описанию и иерархическому согласованию (Андреева и др., 2021; Андреева, Куст, Лобковский, 2022). Для задач реестра эти положения конкретизированы в требованиях к территориальной применимости, функциональной взаимодополняемости и совместимости практик, выявлению сохраняющихся ограничений и последующей проверке совокупной результативности модели по критерию НБДЗ.

Раздел 6.2. Принципы семантического моделирования и инфологический подход

В подразделе 6.2.1 определены принципы информационной формализации развиваемого автором подхода к моделированию устойчивого землепользования. Его содержательную основу составляют разграничение объектов, практик и моделей, согласованное описание их характеристик и обоснование территориально обусловленных сочетаний мероприятий (Андреева и др., 2021; Андреева, Куст, Лобковский, 2022; Андреева, Куст и др., 2024). На этой основе рассмотрена разработанная в совместных исследованиях инфологическая структура, объединяющая массив описаний практик {Alfa}, массив характеристик объектов {Beta} и массив связей и правил локализации {Gamma} (Непесов, Сулова, Куст, Андреева и др., 2025). Согласованные классификаторы и дескрипторы обеспечивают сопоставимость описаний на региональном, местном и локальном уровнях. В диссертации их методологическое назначение раскрыто через соотнесение действия практик с ресурсным потенциалом, воздействиями и рисками конкретного объекта. Локализация включает установление применимости мероприятий и конкретизацию условий их реализации; массив {Gamma} фиксирует основания формирования модели, но не тождественен самой модели.

В подразделе 6.2.2 рассмотрены условия формирования модели из локализованных практик и место НБДЗ в оценке её результативности. В развиваемой концепции соответствие отдельной практики объекту трактуется как необходимое, но недостаточное условие: требуется также обоснование функциональной достаточности комплекса мероприятий, их взаимодополняемости и

непротиворечивости предполагаемых эффектов (Андреева, Куст, Лобковский, 2023; Андреева, Куст и др., 2024). НБДЗ используется как целевой ориентир формирования модели и критерий последующей проверки совокупного результата в установленных пространственно-временных границах (Андреева, Куст, Лобковский, 2022). Тем самым разграничиваются обоснование состава управленческих решений и подтверждение их результативности по наблюдаемым изменениям состояния земель.

Раздел 6.3. Иерархия практик и моделей землепользования

В подразделе 6.3.1 развиты принципы трёхуровневого описания моделей землепользования и определены их функции в организации реестра. Региональный уровень отражает цели и общие направления управления, местный — согласованный состав методов и технологий, локальный — параметры конкретных мероприятий и условия их реализации. Иерархия обеспечивает преемственность решений и согласование степени детализации практик с характеристиками объектов и пространственными границами оценки результата (Андреева и др., 2021; Андреева, Куст, Лобковский, 2022).

В подразделе 6.3.2 предложена многоуровневая классификация практик — типы, подтипы, виды и разновидности. Такой классификатор позволяет связать обобщенные направления действий с конкретными техническими решениями, сохраняя возможность поиска на любом уровне детализации (Андреева и др., 2021; Андреева, Куст, Лобковский, 2022).

В подразделе 6.3.3 определены требования к классификаторам условий местоположения объектов для целей локализации моделей. Вместо создания полностью новой физико-географической классификации предлагается адаптировать существующие природные и отраслевые типологии к задачам реестра (Андреева и др., 2021). Дескрипторы включают характеристики климата, почв, рельефа, гидрологии, типа землепользования, действующих процессов деградации, социально-экономические и институциональные условия.

Таблица 7 — Иерархическое описание практик и его функции при формировании моделей

Уровень	Единицы описания практик	Примеры	Функция при формировании модели
Региональный	Типы и подтипы: направления, способы и приёмы	Гидротехнические и фитотропные практики; обводнение, агролесомелиорация	Определение общих направлений управления
Местный	Виды: методы и технологии	Капельное орошение, создание лесополос, совместное использование лесополос и пастбищ	Подбор технологий, соответствующих условиям объекта
Локальный	Разновидности: конкретные мероприятия и действия	Нормы и режимы полива, состав древесных пород, схемы посадки	Конкретизация реализации практик на земельном участке

Раздел 6.4. Формирование информационных массивов и алгоритмов локализации

В подразделе 6.4.1 рассмотрены принципы организации информационных массивов на основе согласованных классификаторов, дескрипторов и фасетных дополнений. Иерархическая детализация описаний обеспечивает сопоставимость характеристик практик и объектов, сохраняя различия регионального, местного и локального уровней. В развиваемом подходе параметрическое описание потенциала, воздействий и рисков используется для содержательной интерпретации этих соответствий и определения условий территориальной применимости практик. Содержательные основания такого согласования развивают параметрический подход к объектам и практикам и принципы формирования территориально обусловленных моделей (Андреева, Куст и др., 2022; 2023; 2024).

В подразделе 6.4.2 рассмотрена локализация как установление допустимых соответствий между характеристиками практик и условиями объектов землепользования. Основу отбора составляет согласование характера воздействия практики с состоянием и особенностями объекта, а также пространственных уровней их описания. Массив {Gamma} фиксирует связи и правила локализации, на основе которых формируется семантическое представление комплекса практик. В диссертации методическое содержание этой процедуры раскрывается через последовательную оценку применимости отдельных мероприятий, их функциональной взаимодополняемости и непротиворечивости в составе модели.

Классификационные примеры и элементы интерфейса документируют принципы структурирования информации и опыт наполнения базы данных локализованными практиками. Их значение для развиваемой концепции заключается в формализации оснований экспертного выбора: установление допустимого соответствия практики объекту создаёт предпосылку её включения в модель, однако не подтверждает достаточности всего комплекса мероприятий или достижения НБДЗ. Эти свойства требуют самостоятельного анализа и последующей динамической верификации.

Научно-методический результат Части 6 заключается в развитии принципов формирования реестра моделей устойчивого землепользования на основе обоснованных автором подходов к параметризации, иерархическому согласованию и формированию территориально обусловленных комплексов практик. Предложенные автором принципы семантического моделирования обеспечили переход от параметрического описания объектов и практик к формализованному представлению их взаимосвязей и составили концептуальную основу совместной разработки инфологической структуры реестра. Определены требования к локализации моделей: ресурсная обоснованность, функциональная достаточность, взаимодополняемость и непротиворечивость мероприятий. Соответствие практик объекту и согласованность их сочетания рассматриваются как предпосылки результативности модели, подтверждение которой требует анализа наблюдаемых изменений состояния земель. Тем самым формирование и локализация моделей сопряжены с их последующей динамической верификацией, развиваемой в Части 7.



Рисунок 15 — Сопряжение инфологической структуры реестра с ресурсным подходом и динамической верификацией.

Часть 7. Оценка эффективности моделей УЗП в разных пространственно-временных масштабах

В Части 7 развит пространственно-временной аспект предложенной концепции посредством обоснования динамической верификации моделей землепользования. Основное внимание уделено оценке совокупной результативности комплексов практик, представленных в моделях, по наблюдаемым изменениям состояния земель в условиях нестационарности природных процессов. Траектория состояния земель рассматривается как основа выявления направленности, устойчивости и скорости изменений, позволяющая соотнести предполагаемые эффекты управленческих решений с фактической динамикой природного капитала (Andreeva et al., 2026).

Раздел 7.1. Динамика как неотъемлемое свойство систем землепользования

В разделе обосновано положение о том, что результативность моделей устойчивого землепользования не могут корректно оцениваться вне временной динамики состояния земель. Нами показано, что наблюдаемое состояние земель формируется в результате наложения процессов различной продолжительности и направленности: долгосрочных климатических и ландшафтных трендов, межгодовых и многолетних климатических флуктуаций, накопленных последствий предшествующего землепользования и современных хозяйственных воздействий. Эти процессы взаимодействуют нелинейно и способны как усиливать, так и маскировать друг друга. В результате изменение состояния земель между двумя произвольно выбранными временными срезами не обязательно отражает устойчивую тенденцию деградации или восстановления (Andreeva et al., 2026).

С этих позиций нами было предложено рассматривать НБДЗ не как статическое состояние, а как *динамическое равновесие разнонаправленных изменений природного капитала земель*. Проведенный анализ на материалах России и стран Центральной Азии показал, что использование фиксированного базового периода существенно повышает чувствительность результатов к климатической изменчивости и выбору начальных и конечных дат наблюдений. Установлено, что оценки одних и тех же территорий могут заметно различаться при изменении периода анализа; для Кыргызстана и Таджикистана, в частности, показана возможность значительной недооценки площади деградированных земель при использовании фиксированной базовой линии. Исследования в Туркменистане продемонстрировали также, что устойчиво повторяющиеся очаги деградации могут занимать относительно небольшую площадь и поэтому слабо выявляться при единичной статической оценке (Eziz, Kust, Andreeva et al., 2026).

Полученные результаты позволили обосновать необходимость перехода от единичного сравнения состояний к *динамической диагностике*, основанной на анализе последовательных временных интервалов. Такой подход дает возможность отделять кратковременные климатические колебания от устойчивых изменений, выявлять повторяемость процессов деградации и восстановления, оценивать их направленность и скорость и тем самым проверять не только текущий эффект, но и пространственно-временную устойчивость результата применения модели УЗП. Этот вывод послужил методологической основой дальнейшего развития динамической оценки НБДЗ и верификации моделей землепользования в последующих разделах (Andreeva et al., 2026).

Раздел 7.2. Причины пространственно-временной дифференциации моделей УЗП

В разделе исследованы причины, вследствие которых результативность одной и той же практики или модели устойчивого землепользования различается в пространстве и во времени. Показано, что устойчивость землепользования определяется не самой технологией как таковой, а ее соответствием природным условиям, истории освоения территории и характеру современных нагрузок. Поэтому перенос локально успешных практик в иные природно-хозяйственные условия без адаптации не гарантирует сохранения их положительного эффекта и достижения НБДЗ.

В подразделе 7.2.1 систематизированы природные и антропогенные факторы пространственно-временной дифференциации, определяющие условия выбора и локализации моделей землепользования. Разграничены относительно устойчивые свойства территории — рельеф, почвенно-литологические и гидрологические условия; динамические факторы — климатические колебания, изменения водообеспеченности и нагрузки; наследуемые особенности — последствия предшествующего землепользования и накопленные предпосылки деградации. Их сочетание формирует специфический «ландшафтно-хозяйственный контекст», определяющий применимость практик и необходимость адаптации моделей (Andreeva et al., 2026).

Особое значение придано «генетической памяти» почв как наследуемой предрасположенности к возобновлению неблагоприятных процессов. На примере засоленных и потенциально засоляемых земель Приаралья рассмотрено значение запасов солей в почвенном профиле и почвообразующих породах, дренированности и режима минерализованных грунтовых вод. Их совместный учёт позволяет разграничивать временное улучшение мелиоративного состояния и сохранение предпосылок повторного засоления. Наряду с природными особенностями существенную роль играет история хозяйственного использования, включая забрасывание пашни, изменение структуры животноводства и локальную интенсификацию землепользования. Следовательно, локализация

моделей должна учитывать не только современное состояние объекта, но и траекторию его развития (Kust, Andreeva, Shklyayeva, 2023; Andreeva et al., 2026).

В подразделе 7.2.2 рассмотрены возможности стандартной методологии НБДЗ, реализованной в модуле Trends.Earth для ГИС QGIS, как инструмента первичного пространственного скрининга. Она позволяет выявлять «горячие точки» деградации и территории устойчивого улучшения, переходя от агрегированных показателей к территориально дифференцированному обоснованию управленческих приоритетов. Апробация на материалах России, Кыргызстана, Таджикистана и Туркменистана показала значительную неоднородность процессов даже при сходных интегральных показателях деградации. Такой анализ позволяет определять приоритетные территории для вмешательства, формировать гипотезы о причинах деградации и выявлять участки, где целесообразно изучать условия результативности применяемых практик. Вместе с тем единичная пространственная оценка недостаточна для вывода об устойчивости процесса. Необходим анализ повторяемости ухудшения или улучшения в последовательных временных В подразделе 7.2.2 рассмотрены возможности стандартной методологии НБДЗ, реализованной в модуле Trends.Earth для ГИС QGIS, интервалах, позволяющий отличить устойчивые тенденции от кратковременных колебаний.

В подразделе 7.2.3 критический анализ позволил систематизировать ограничения стандартной методологии НБДЗ при ее использовании на региональном и локальном уровнях. К ним относятся недостаточное пространственное разрешение глобальных данных, необходимость региональной адаптации матриц переходов наземного покрова, неопределенность оценок почвенного органического углерода, зависимость результатов от фиксированного базового периода и неоднозначность интерпретации вегетационных индексов.

Показано, что одинаковые изменения наземного покрова могут иметь различное значение в разных природно-хозяйственных условиях. Так, переход пашни в залежь может отражать как восстановление растительности, так и потерю сельскохозяйственных земель вследствие засоления; рост NDVI не всегда свидетельствует об улучшении пастбищ. Кроме того, важные процессы — вторичное засоление, пастбищная дигрессия, изменение состава тугайной растительности — могут происходить без смены класса наземного покрова и оставаться невыявленными стандартной методологией (Kust, Andreeva, Shklyayeva, 2023; Andreeva et al., 2026).

По результатам проведённого анализа обоснована необходимость повышения пространственной детализации данных, региональной адаптации правил интерпретации, использования дополнительных показателей и наземной верификации. Ключевым направлением развития диагностики определён анализ последовательных временных интервалов, дополняющий оценку относительно установленного базового периода. Тем самым раздел 7.2 формирует методическое основание для последующей динамической диагностики состояния земель и пространственно-временной верификации моделей УЗП (Kust, Andreeva, Shklyayeva, 2023; Andreeva et al., 2026).

Раздел 7.3. Динамическая диагностика состояния земель и оценка достижения НБДЗ

В разделе разработан и апробирован методический подход к динамической диагностике состояния земель, предназначенный для преодоления ограничений оценки, основанной на одном фиксированном временном периоде. В отличие от статического сопоставления исходного и конечного состояний, динамический анализ ориентирован на определение *направленности*,

скорости и устойчивости изменений, что позволяет использовать показатели НБДЗ не только для фиксации деградации, но и для пространственно-временной верификации результативности моделей землепользования. В подразделе 7.3.1 обосновывается сущность динамического подхода. В его основу положено представление о состоянии земель как результате наложения долгосрочных природных тенденций, климатических циклов и антропогенных воздействий различной продолжительности. Для выявления устойчивого сигнала предложено использовать весь доступный временной ряд наблюдений и сглаживание краткосрочных колебаний. Динамический базовый уровень определяется через среднее или медианное значение индикатора за продолжительный период и рассматривается как территориально дифференцированная референтная характеристика, относительно которой оцениваются последовательные изменения состояния земель. Для интегральной характеристики соотношения разнонаправленных процессов используется предложенный нами Индекс НБДЗ (Андреева, Куст, 2020). Его положительные значения характеризуют преобладание улучшения, отрицательные — деградации. В отличие от показателя, учитывающего только площадь деградированных земель, Индекс НБДЗ позволяет анализировать баланс обоих процессов и его изменение во времени. Динамическая диагностика тем самым создаёт основу для перехода от констатации состояния к выбору мер в соответствии с иерархией «предотвратить — сократить — восстановить».

В подразделе 7.3.2 разработана процедура формирования сопоставимых оценок по перекрывающимся временным интервалам. В рассмотренной апробации для ряда 2001–2022 гг. использовались преимущественно пятилетние окна со смещением на 2–3 года. Для каждого интервала рассчитывается состояние земель и его отклонение от долговременного референтного уровня, после чего формируется последовательность пространственно сопоставимых оценок. Такой подход позволяет выявлять чередование фаз ухудшения, стабилизации и восстановления и оценивать чувствительность результата к выбору периода наблюдений. Пятилетняя продолжительность окна используется как операционный параметр сглаживания межгодовой изменчивости, применимость которого определяется особенностями индикаторов и исследуемой территории (Eziz, Kust, Andreeva et al., 2026; Andreeva et al., 2026).

В подразделе 7.3.3 для разграничения хронических процессов и временных флуктуаций разработан анализ повторяемости состояний. Для каждого пространственного элемента определяется частота его отнесения к категориям деградации, улучшения или стабильности в последовательных временных интервалах. Это позволяет выделять устойчивые «горячие точки» деградации, территории устойчивого улучшения, стабильные и изменчивые участки (Eziz, Kust, Andreeva et al., 2026).

Апробация в России и Центральной Азии показала, что площадь устойчивой деградации может быть значительно меньше площади, периодически классифицируемой как деградированная. Тем самым частотный анализ позволяет концентрировать управленческие меры именно на участках хронических изменений. В предлагаемой системе «горячие точки» связываются преимущественно с восстановительными действиями, нестабильные территории — со снижением нагрузки, стабильные — с предотвращением деградации, а участки устойчивого улучшения рассматриваются как объекты для сохранения и возможного тиражирования успешных решений. Выбор мер определяется состоянием земель, причинами изменений и восстановительными возможностями территориальной системы.

В подразделе 7.3.4 категориальная оценка дополнена регрессионным анализом временных рядов долей деградированных $D(t)$ и улучшенных $I(t)$ земель и Индекса НБДЗ $I_LDN(t) = I(t) - D(t)$. Совместная интерпретация коэффициентов тренда позволяет различать несколько принципиальных траекторий: расширение деградации, истощение восстановительного потенциала, комбинированное ухудшение, восстановление и относительную стабильность. Тем самым оценивается не только текущее состояние территории, но и механизм её изменения, что имеет непосредственное значение для выбора модели управления. Экстраполяция рассматривается как условная оценка дальнейшей динамики при сохранении выявленных тенденций. Соответственно, на основе выявленных трендов возможно построение условных прогнозов и определение моментов смены их направленности. В диссертации подчеркивается необходимость учитывать неопределенность таких прогнозов и рассматривать их прежде всего как инструмент раннего выявления неблагоприятных траекторий и своевременной корректировки решений, а не как детерминированное предсказание будущего состояния земель (Куст, Андреева, Подлеснов, 2026).

Подраздел 7.3.5 посвящен завершающему этапу, на котором результаты анализа повторяемости и регрессионных трендов объединяются для диагностики состояния территории и выбора приоритетной стратегии управления. Предложена матрица, связывающая исходный уровень деградации и улучшения с направлением их последующей динамики. Это позволяет разграничивать кризисное расширение деградации, хроническое истощение, относительно устойчивое или хрупкое равновесие и различные варианты восстановления и соотносить их с необходимостью предотвращения, сокращения нагрузки, активного восстановления либо поддержки достигнутого улучшения (Куст, Андреева, Подлеснов, 2026; Kust, Andreeva, Podlesnov, 2026).

Применение подхода на пилотных территориях показало возможность перехода от общей оценки НБДЗ к таргетированному выбору комплексов практик, учитывающих конкретную траекторию изменения земель. Полученные диагностические характеристики могут использоваться и при формировании реестра моделей УЗП: модель в этом случае описывается не только набором входящих в неё практик и условиями их применимости, но и типом динамического состояния территории, для которого она предназначена. Тем самым динамический мониторинг включается в общий цикл «диагностика — локализация модели — проверка результата — корректировка», обеспечивая обратную связь между фактическим изменением состояния земель и управленческими решениями. Такой синтез конкретизирует применение иерархии «Предотвратить — Сократить — Восстановить», позволяя связывать диагностируемую динамику с выбором взаимодополняющих практик. При этом снижение доли улучшенных земель не отождествляется с утратой восстановительного потенциала, а отсутствие тренда — с благополучным состоянием территории (Andreeva et al., 2026; Kust, Andreeva, Podlesnov, 2026).

В таблице ниже представлены шесть основных сценарных типов, которые иллюстрируют типологию, разработанную и диагностированную для тестовых объектов в России (Калмыкия, Самарская область), Туркменистане и в Узбекистане. Дополнительные строки («поляризация», «сокращение деградации без роста улучшений», «рост улучшений без сокращения деградации», «двойное сокращение») введены как методическое расширение, чтобы матрица охватывала все практически возможные сочетания трех трендов и не сводила диагностику только к негативным сценариям.

Таблица 8 — Диагностическая матрица для интерпретации трендов состояния земель и обоснования выбора управленческих мер

Сценарий / профиль	Совместный профиль коэффициент ов b (тренды)	Исходное состояние а Вербальный диагноз	Приоритетная стратегия НБДЗ	Типовые меры / практики	Цель мониторинга и пример
1. Кризисное наступление	$b(D) \gg 0$; $b(I) \approx 0$ или < 0 ; $b(I_{LDN}) < 0$	При хорошем исходном состоянии ($a(D)$ низкий, $a(I)$ высокий, $a(I_{LDN}) > 0$) - быстро развивающийся кризис на ранее «здоровом» фоне. При плохом исходном состоянии тот же профиль приближается к системному коллапсу.	Reverse + спрочное Reduce. Кризисное реагирование; остановить расширение деградации до утраты восстановительного потенциала.	Немедленно купировать ведущий драйвер: ограничение/закрытие перегруженных пастбищ; экстренное регулирование поголовья; противозерозионные сооружения и закрепление очагов дефляции; восстановление/строительство дренажа, промывка и противозасолительные меры; запрет распашки уязвимых участков. Меры локализуются по «горячим точкам».	Главная цель - быстро снизить $b(D)$ к 0 и затем ниже 0; одновременно не допустить дальнейшего падения $b(I)$. Пример из материалов: этрап Данев.
2. Хроническое истощение	$b(D) \approx 0$ или слабо > 0 ; $b(I) < 0$; $b(I_{LDN}) < 0$	Деградация может внешне не расширяться, но «сжимается» доля улучшений и запас устойчивости. При высоком а - скрытая потеря устойчивости; при низком а - хроническое истощение на фоне уже накопленного ущерба.	Reduce + Targeted Reverse. Превентивное укрепление, стабилизация и поэтапная реабилитация.	Инвестиции прежде всего в еще функционирующие земли: водосберегающие технологии; поддержание и ремонт мелиоративной/дренажной инфраструктуры; почвозащитная агротехника; пастбищеоборот и рассредоточение нагрузки через водопой; поддержка естественного возобновления; точечное восстановление наиболее ценных участков.	Главная цель - переломить $b(I)$ из отрицательного в 0/положительный при недопущении роста $b(D)$. Примеры: Туркменбаши и Дарганата.
3. Комбинированное ухудшение / системный коллапс	$b(D) > 0$; $b(I) < 0$; $b(I_{LDN})$ резко < 0	Одновременно расширяются деградированные земли и сокращаются улучшения. При плохом исходном состоянии ($a(D)$ высокий, $a(I)$ низкий, $a(I_{LDN}) < 0$) - системный коллапс; при среднем/хорошем а - быстро формирующийся комбинированный кризис.	Comprehensive Reverse + Reduce. Комплексная долгосрочная реабилитация, но с экстренной фазой в наиболее опасных очагах.	Одновременно два пакета действий: (1) локализация активной деградации - дренаж, борьба с засолением, эрозией, подвижными песками, перегрузкой; (2) восстановление устойчивости остальной территории - улучшение водного режима, агротехники, пастбищной инфраструктуры, естественного и искусственного возобновления. Нужна многолетняя программа и бюджетирование.	Цели задаются по двум коэффициентам: $b(D) \rightarrow 0/<0$ и $b(I) \rightarrow 0/>0$. Пример комбинированного механизма: Рухубелент; на уровне велятов - Дашогуз и Лебап.
4. Поляризация / структурное расхождение	$b(D) > 0$; $b(I) > 0$; $b(I_{LDN}) = b(I) - b(D)$; > 0 , ≈ 0 или < 0	Одновременно растут и деградированные, и улучшенные площади за счет сокращения стабильного класса. Положительный $b(I_{LDN})$ здесь не означает отсутствия проблемы: локальная деградация продолжает расширяться. Необходимо пространственное разложение результата.	Двойная стратегия: Maintain/Upscale для «ярких точек» + Reduce/Reverse для «горячих точек».	Разделить территорию на контрастные кластеры. Тиражировать успешные практики в зонах улучшения и одновременно устранить причины деградации в очагах риска. Не использовать средний $b(I_{LDN})$ как единственный критерий распределения средств.	Если $b(I) > b(D)$, чистый баланс улучшается, но $b(D)$ все равно должен быть отдельной целевой метрикой. Если $b(I) \approx b(D)$, возможен «нулевой баланс при высокой внутренней турбулентности».
5. Равновесие без выраженного тренда	$b(D) \approx 0$; $b(I) \approx 0$; $b(I_{LDN}) \approx 0$	Исходный уровень определяет смысл равновесия. При низком $a(D)$ и хорошем $a(I)$ - потенциально устойчивое состояние. При высоком $a(D)$, низком $a(I)$ и отрицательном $a(I_{LDN})$ - хрупкое равновесие на низком уровне, когда активного ухудшения нет, но восстановительный потенциал ограничен.	Хороший фон: Avoid и профилактика. Плохой фон: консервация, защита от новых угроз; восстановление - только если оно экологически и экономически оправдано.	Устойчивое управление и раннее предупреждение; недопущение новых нагрузок; сохранение режима охраны; контроль пожаров, выпаса, распашки и водного режима. Для природно низкопродуктивных/охраняемых экосистем избегать механического требования «улучшать» любой ценой.	Цель - удерживать $b(D)$ около 0 или < 0 и не допускать $b(I) < 0$. Пример хрупкого низкоуровневого состояния: Гаплангыр.
6. Полное восстановление	$b(D) < 0$; $b(I) > 0$; $b(I_{LDN}) > 0$	Наиболее благоприятный профиль: деградация сокращается, улучшения расширяются. При хорошем а - восстановление с высокого старта; при плохом а - восстановление с низкого старта, требующее длительной поддержки.	Maintain & Upscale; при низком старте - Sustained Reverse до закрепления результата.	Сохранять режим, давший эффект: пастбищеоборот, водосбережение, почвозащитное земледелие, восстановление растительности, противопожарные и противозерозионные меры. Документировать успешные практики, проверять их переносимость и тиражировать на сходные территории.	Цель - сохранить $b(D) < 0$ и $b(I) > 0$, контролируя устойчивость эффекта в нескольких циклах мониторинга.
7. Сокращение деградации без расширения улучшений	$b(D) < 0$; $b(I) \approx 0$; $b(I_{LDN}) > 0$	Позитивный сдвиг достигается главным образом за счет уменьшения деградированной площади. Часть земель может переходить не в класс «улучшение», а в «стабильно». Это ранняя или неполная стадия восстановления.	Reduce $\rightarrow$ Reverse. Закрепить остановку деградации и создать условия для последующего улучшения.	Продолжать снижение нагрузки и устранение причин деградации; поддерживать естественное восстановление; на приоритетных участках переходить от стабилизации к активному восстановлению. Верифицировать, куда переходит высвобождающаяся площадь: в стабильное или действительно улучшенное состояние.	Цель - сохранить $b(D) < 0$ и со временем получить $b(I) > 0$; рост $b(I_{LDN})$ не должен маскировать стагнацию восстановительных процессов.
8. Расширение улучшений без сокращения деградации	$b(D) \approx 0$; $b(I) > 0$; $b(I_{LDN}) > 0$	Чистый баланс улучшается за счет расширения «ярких точек», тогда как деградированная площадь не сокращается. Это позитивная динамика, но накопленный деградационный фонд остается.	Maintain & Upscale + Targeted Reverse.	Поддерживать и тиражировать успешные практики; отдельно выделить хронические деградированные участки и разработать для них адресную программу восстановления. Не считать рост $b(I)$ достаточным основанием для отказа от работы с фиксированным фондом деградированных земель.	Две цели: $b(I)$ сохранить > 0 ; $b(D)$ перевести из ≈ 0 в < 0 на приоритетных деградированных участках.

Сценарий / профиль	Совместный профиль коэффициент ов b (тренды)	Исходное состояние а Вербальный диагноз	Приоритетная стратегия НБДЗ	Типовые меры / практики	Цель мониторинга и пример
9. Двойное сокращение динамических классов / стабилизация	$b(D) < 0$; $b(I) < 0$; $b(I_{LDN})$ зависит от модулей: положительный , ≈ 0 или отрицательный	Одновременно уменьшаются и деградированные, и улучшенные площади, что обычно означает расширение класса «стабильно». Если $ b(D) > b(I) $ - чистый баланс улучшается; если $ b(D) < b(I) $ - теряются улучшения быстрее, чем сокращается деградация. Без анализа класса «стабильно» диагноз неоднозначен.	Адаптивное управление. При положительном $b(I_{LDN})$ - закреплять стабилизацию; при отрицательном - восстанавливать механизмы улучшения; при ≈ 0 - углубленная диагностика.	Проверить переходы в стабильный класс, наземные данные и дополнительные индикаторы. Не делать вывод по одному $b(I_{LDN})$. В природно циклических системах отличать реальную стабилизацию от климатически обусловленного «сжатия» обоих динамических классов.	Цель формулируется после верификации механизма; особенно важны повторяемость, качество регрессии и наземная проверка.

Примечание к матрице. Для профилей 4, 7, 8 и 9 названия являются методическим расширением исходной сценарной типологии, необходимым для исчерпывающей совместной интерпретации трех коэффициентов b . Они следуют непосредственно из тождества $b(I_{LDN}) = b(I) - b(D)$ и должны рассматриваться как диагностические рабочие категории, а не как уже стандартизированные термины КБО ООН.

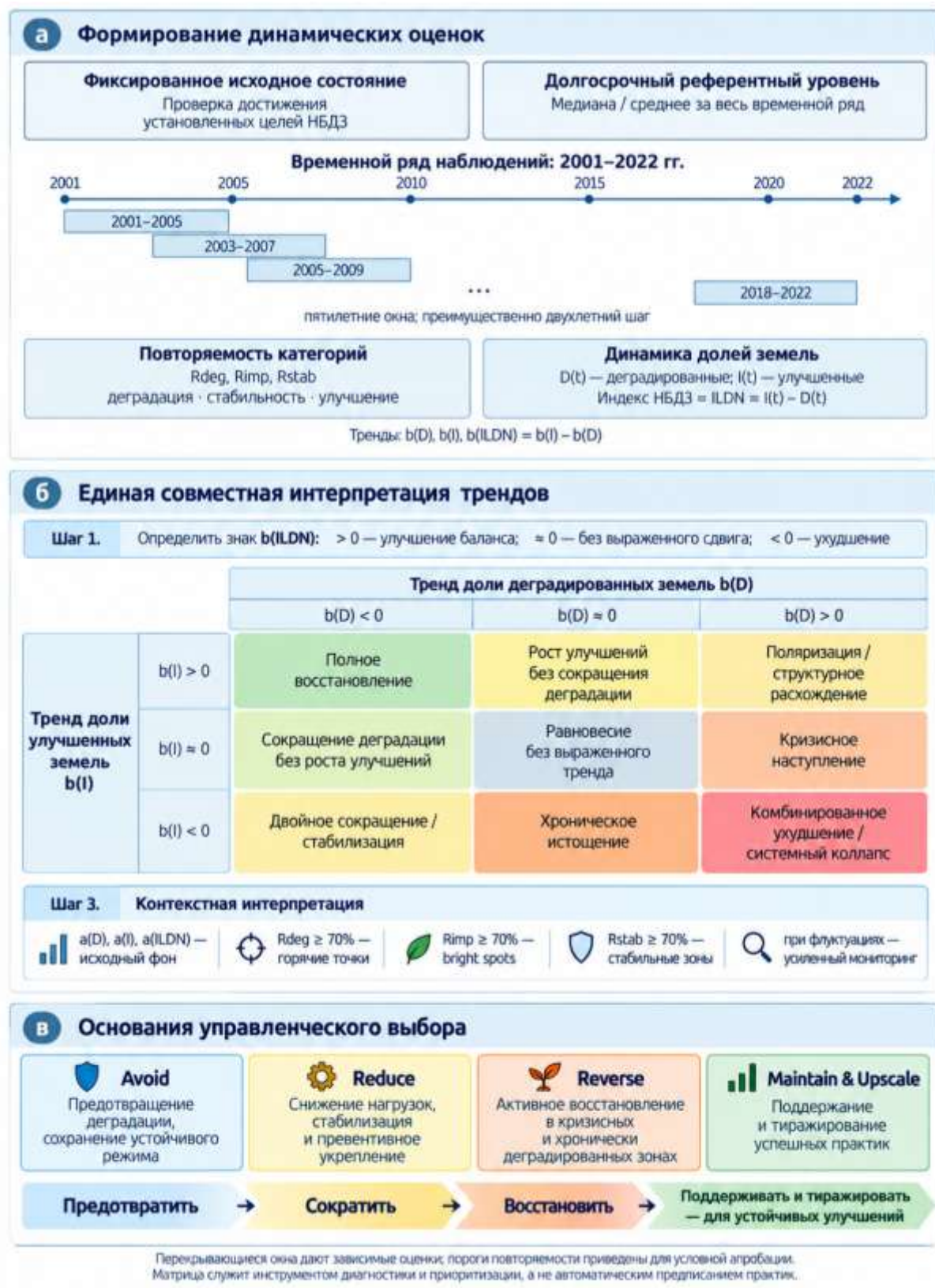


Рисунок 16 — Динамическая диагностика состояния земель и обоснование управленческих приоритетов.

Раздел 7.4. Оценка углеродного баланса как дополнительного критерия выбора практик и моделей УЗП

В отличие от динамической оценки НБДЗ, характеризующей изменение состояния земель, углеродный баланс позволяет количественно сопоставлять альтернативные практики по их потенциальному влиянию на выбросы и поглощение парниковых газов. Поэтому данный показатель рассматривается не как самостоятельный критерий устойчивости, а как дополнительный параметр выбора практик в тех природно-хозяйственных условиях, где различия между ними по климатическому эффекту имеют существенное значение.

На материалах исследований в Кыргызстане и Таджикистане проанализированы результаты расчётов с использованием инструмента ЕХ-АСТ ФАО, позволяющего сопоставлять сценарии «с проектом» и «без проекта» в единицах CO₂-эквивалента. Анализ более 3500 площадок применения практик УЗП показал существенную дифференциацию их углеродного эффекта. Наиболее выраженный потенциал депонирования был характерен для агролесоводства, лесоразведения и лесовосстановления, противоэрозионных мероприятий, садоводства и управления почвенным плодородием. В то же время отдельные варианты интенсивного земледелия, животноводства и аквакультуры характеризовались дополнительными выбросами. При этом углеродный эффект одной и той же группы практик существенно зависит от способа её реализации и местных природно-хозяйственных условий (Golubeva, Kust, Ergashev, Andreeva, 2017).

Полученные результаты подтверждают возможности использования углеродной оценки прежде всего для сравнения нескольких допустимых вариантов УЗП в пределах одной территории. Расчёты позволяют также оценивать сочетания практик: социально и экономически необходимые, но эмитирующие виды деятельности не всегда могут быть исключены, однако их воздействие может частично компенсироваться включением в модель депонирующих мероприятий. Получаемые при этом количественные соотношения имеют значение для планирования компенсационных мер, но должны рассматриваться как территориально обусловленные оценки, а не как универсальные нормативы.

Ограничения в использовании углеродного критерия заключаются в том, что изменение запасов углерода отличается значительной инерционностью, результаты расчётов зависят от качества исходных данных и используемых коэффициентов, а сам показатель не отражает социально-экономическую приемлемость практик. Кроме того, благоприятный углеродный эффект не может использоваться изолированно от оценки состояния земель и процессов их деградации, поскольку не всегда совпадает с положительной динамикой других характеристик земель: например, зарастание ранее продуктивной пашни может сопровождаться увеличением биомассы и накоплением углерода, одновременно означая утрату её сельскохозяйственной функции.

Таким образом, углеродный баланс целесообразно включать в предлагаемую методологию как дополнительный критерий выбора и сочетания практик УЗП, наиболее полезный в случаях, когда существует несколько функционально приемлемых вариантов землепользования.



Рисунок 17 — Расчётный углеродный баланс выбранных групп практик землепользования в Таджикистане за двадцатилетний период.

Раздел 7.5. От анализа устойчивости к адаптации: конструирование климатически ориентированных моделей землепользования

В разделе показано, как разработанный в предыдущих частях инструментарий оценки и моделирования УЗП может быть использован для перехода от ретроспективной диагностики состояния земель к проактивному конструированию моделей, адаптированных к ожидаемым климатическим изменениям. Исходным положением является необходимость оценивать не только текущую результативность модели, но и её способность сохранять основные функции при усилении засушливости, изменении режима осадков, эрозионной опасности и других климатически обусловленных рисков. Для этого рассмотрены возможности дополнения системы параметров моделей УЗП измеримыми климатическими характеристиками, включая SPEI, отношение Боуэна, NDVI и показатели эрозионной опасности.

Для согласования адаптационных решений предложена трехуровневая структура «Стратегический — Тактический — Операционный». Стратегический уровень определяет региональные приоритеты, институциональные условия и ограничения использования ресурсов; тактический обеспечивает адаптацию общих решений к конкретной ландшафтной структуре и организации землепользования; операционный включает непосредственный выбор и реализацию практик на уровне хозяйства или земельного участка. Такая организация позволяет рассматривать климатическую адаптацию не как набор отдельных технологий, а как согласованную систему взаимодействующих действий разных пространственных и управленческих уровней.

На материалах для юга России рассмотрены возможности конструирования адаптивных моделей для трех характерных групп климатических вызовов — усиления аридизации и засух, активизации эрозионных процессов и деградации пастбищ. Показано, что для каждого типа риска модель должна формироваться как территориально обусловленное сочетание технологических, мелиоративных, организационных и институциональных мер. Так, адаптация орошаемого

земледелия связывается с повышением эффективности использования воды и предотвращением вторичного засоления; в эрозионно-опасных агроландшафтах — с почвозащитной организацией территории и ресурсосберегающей агротехникой; на аридных пастбищах — с регулированием нагрузки, пастбищеоборотом, фитомелиорацией и пространственным перераспределением выпаса.

Особое значение придаётся сценарному проектированию и пороговым значениям индикаторов, при достижении которых существующая модель должна корректироваться или заменяться более интенсивным вариантом адаптации. Такой подход позволяет использовать мониторинг не только для фиксации уже произошедшей деградации, но и как систему раннего предупреждения, обеспечивающую своевременную корректировку модели до перехода территории в критическое состояние. Раздел 5

В результате климатически ориентированная модель УЗП рассматривается как динамическая конструкция, условия применимости которой изменяются вместе с климатом и состоянием земель. Включение климатических индикаторов, сценариев и порогов в реестр моделей позволяет преобразовать его из каталога практик в систему поддержки решений, где выбор и корректировка модели осуществляются с учетом текущего состояния территории, динамики НБДЗ и прогнозируемых климатических рисков (Andreeva et al., 2026; Kust, Andreeva, Podlesnov, 2026).

Климатическая адаптация в цикле работы с моделью УЗП

Диагностика → локализация адаптивной модели → мониторинг → корректировка

Ключевые вызовы: аридизация • эрозия • деградация пастбищ



Рисунок 18 — Общие принципы климатической адаптации для моделей землепользования.

Научное значение части 7 состоит в развитии динамического аспекта геоэкологической концепции моделей УЗП и методических оснований оценки их *эффективности во времени*.

Показано, что сопоставление только двух состояний или одного фиксированного временного окна не позволяет надёжно отделять устойчивые тенденции от природной изменчивости. Поэтому динамическая диагностика НБДЗ дополнена анализом повторяемости, регрессионных характеристик и причин наблюдаемых изменений. Эти результаты формируют аналитическую основу для прогнозирования, стратегического планирования и адаптивной корректировки моделей, но не подменяют самостоятельного сценарного прогноза и оценки причинного вклада конкретных практик.

В результате часть 7 связывает динамическую оценку состояния земель с циклом управления «диагностика → выбор территориально обусловленной модели и процедуры локализации → реализация → проверка результативности → оценка эффективности и корректировка». НБДЗ выступает главным интегральным критерием изменения земельного природного капитала; динамические характеристики уточняют устойчивость тенденций, а дополнительные показатели и климатические сценарии — основания выбора и адаптации модели. Такой подход обеспечивает переход от научной диагностики к информационно-аналитической поддержке стратегического и территориального планирования.

Часть 8. Возможности практического применения результатов исследования

Заключительная часть диссертации раскрывает возможности практического применения геоэкологической концепции моделей УЗП в стратегическом и территориальном планировании, информационно-аналитических системах поддержки решений, мониторинге и научно-экспертной деятельности. Результаты исследования рассматриваются как методическая основа обоснования управленческих решений, а не как уже внедрённая универсальная технология или завершённая нормативная система планирования.

Динамическая диагностика позволяет различать кратковременные изменения и устойчивые траектории состояния земель и формировать аналитические предпосылки прогнозирования.

Информационно-аналитическое сопровождение стратегического и территориального планирования, включает: (а) использование динамической диагностики для пространственной приоритизации мер по борьбе с деградацией земель, отделения кратковременных колебаний от устойчивых тенденций и определения территорий устойчивой деградации, нестабильного состояния, относительной стабильности и устойчивого улучшения; (б) принятие стратегических решений в отношении территорий, приоритетных для сокращения действующих воздействий и восстановления; объектов превентивного управления и усиленного мониторинга; объектов предотвращения будущей деградации; территорий для выявления воспроизводимых моделей землепользования.

Предлагаемая логика информационно-аналитического сопровождения планирования включает динамическую диагностику → определение стратегических приоритетов → выбор территориально обусловленной модели и её локализацию → сценарный анализ → мониторинг → оценку эффективности → корректировку. Диагностическая информация используется как при первоначальном выборе стратегии, так и при последующей проверке изменений состояния земель; сценарный прогноз требует самостоятельного учёта будущих природных и хозяйственных условий.

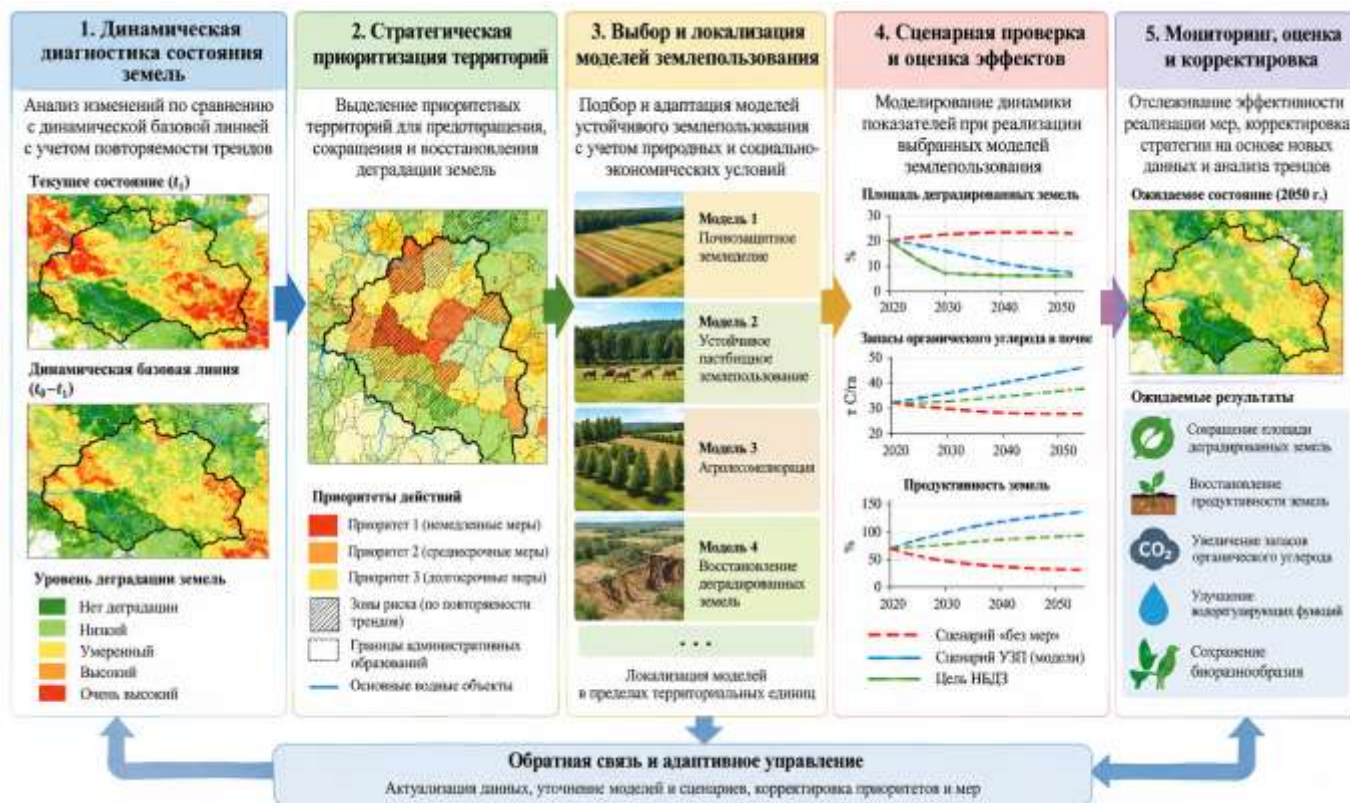


Рисунок 19 — Использование моделей устойчивого землепользования и динамической базовой линии в цикле стратегического и территориального планирования мер по борьбе с деградацией земель.

Для практической реализации этой логики предложена концептуальная архитектура цифровой информационно-аналитической системы. Ее концептуальная архитектура включает геопространственные и мониторинговые данные, базы объектов и практик, алгоритмы динамической диагностики, реестр моделей землепользования, сценарный анализ и средства визуализации результатов. При этом система не предписывает решение автоматически, а формирует и ранжирует возможные варианты, сохраняя ведущую роль экспертной оценки и учета локальных условий. Тем самым создается единый информационный контур поддержки стратегических решений, в котором мониторинг непосредственно связан с выбором и последующей корректировкой управленческой модели.



Рисунок 20 — Концептуальная схема цифровой системы поддержки решений для информационно-аналитического сопровождения территориального планирования мер по борьбе с деградацией земель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационное исследование развивает научные основы устойчивого землепользования путём обоснования геоэкологической концепции моделей УЗП. Оно направлено на преодоление разрыва между опытом применения многочисленных практик и обоснованием их согласованного применения на уровне целостной территории, эффективность которых может проверяться по критерию достижения НБДЗ.

Общая международная концепция УЗП получает в исследовании развитие через авторскую геоэкологическую концепцию моделей устойчивого землепользования. Её содержание объединяет ресурсный подход, принципы системности, территориальной обусловленности и адаптивности, функциональную типологию моделей и оценку достижения НБДЗ. Разграничение объекта, практики, системы землепользования и модели обеспечивает понятийную основу перехода от отдельных мероприятий к территориально согласованным комплексам решений.

Основной научный результат заключается в обосновании взаимосвязи ресурсной диагностики «потенциал — воздействия — риски», функционально согласованных комплексов практик, методических средств формирования моделей и оценки эффективности по критерию достижения НБДЗ. Ресурсный подход объясняет предпосылки и ограничения устойчивости, территориальная обусловленность определяет принципы применения моделей, а критерий НБДЗ позволяет проверить совокупные изменения состояния земель. При этом разграничиваются обоснованность проектируемой модели, наблюдаемая результативность и подтверждённая эффективность её применения.

Эмпирический анализ практик и объектов России и Центральной Азии конкретизировал условия перехода от отдельных мероприятий к территориально согласованным комплексам. Разнообразие исследованных систем позволило раскрыть значение функциональной взаимодополняемости практик, их пространственного охвата, продолжительности применения и соответствия ресурсным возможностям объекта. Одновременно установлены границы переноса результатов: воспроизводимость подхода обеспечивается общей логикой исследования при обязательной адаптации параметров и решений к природно-хозяйственным условиям территории.

Динамическая диагностика придала разработанной концепции пространственно-временное измерение и связала мониторинг с обоснованием стратегических решений. Анализ последовательных интервалов, повторяемости категорий изменений и регрессионных характеристик выявляет траектории состояния земель, условия сохранения положительного эффекта и признаки нарастания рисков. Получаемые оценки создают аналитическую основу для прогнозно-сценарных исследований, пространственной приоритизации мер и адаптивной корректировки моделей.

Практическое значение исследования определяется возможностью использования полученных результатов в территориальном планировании, подготовке планов управления, обосновании восстановительных и компенсационных мероприятий, климатической адаптации и экспертном сопровождении проектов. Принципы реестра моделей и концептуальная архитектура цифровой системы поддержки решений обеспечивают информационную организацию цикла «диагностика — формирование и локализация модели — реализация — верификация — корректировка». Расчётные оценки углеродного баланса дополняют этот цикл при сопоставлении климатических эффектов допустимых вариантов землепользования. Разработанные положения также составляют методическую основу образовательной и научно-экспертной деятельности.

Дальнейшее развитие концепции связано с расширением эмпирической проверки моделей, верификацией классификаторов, формализацией алгоритмов локализации, интеграцией наземных и дистанционных данных и региональной калибровкой диагностических параметров. Программная реализация системы поддержки решений и углубление социально-экономической и институциональной составляющих позволят расширить возможности оценки долгосрочной жизнеспособности моделей. Полученные результаты создают научно-методическую основу такого развития, связывая проектирование землепользования с проверкой его последствий для территориальной системы.

Структуру разработанной концепции, разграничение её теоретических оснований, принципов и методологических инструментов, а также направления практического применения обобщает рисунок 21. В этой системе ресурсный подход, территориальная обусловленность моделей и критерий НБДЗ образуют взаимосвязанные основания, тогда как семантическое моделирование, процедуры локализации и динамическая диагностика обеспечивают их методическую реализацию.



Рисунок 21 — Концептуальная иерархия геоэкологической концепции моделей устойчивого землепользования.

Выводы

1. Разработана геоэкологическая концепция моделей устойчивого землепользования, основанная на представлении об устойчивости как эмерджентном свойстве систем землепользования. Модель УЗП рассматривается как функционально согласованный, территориально обусловленный комплекс практик, направленный на поддержание или восстановление функций земель и достижение НБДЗ.
2. Достижение нейтрального баланса деградации земель обосновано как главный интегральный критерий УЗП и целевой ориентир формирования моделей, но само по себе не устанавливает причинной связи изменений с моделью и не исчерпывает социально-экономические и институциональные условия устойчивости.
3. Показано, что специальное применение ресурсного подхода к обоснованию моделей УЗП позволяет связать природный и антропогенно расширенный потенциал земель, действующие неблагоприятные воздействия и потенциальные риски деградации. Соотношение этих характеристик раскрывает ограничения, функциональные возможности и необходимость согласования взаимодополняющих практик, не сводя устойчивость к простому балансу отдельных параметров.
4. Предложена функциональная типология моделей землепользования по характеру обеспечения устойчивости, включающая природно обусловленные, поддерживаемые и

расширенные модели УЗП, а также модели неустойчивого землепользования. Типология служит основой сопоставления, выбора и адаптации моделей для территорий с различными ресурсными условиями и механизмами управления.

5. По результатам анализа пилотных территорий обоснована необходимость оценки совокупной результативности практик: частный положительный эффект и локальная успешность не являются достаточным условием достижения НБДЗ. Результат определяется системностью сочетания практик, пространственным охватом, масштабом управления, временным лагом между воздействием и откликом и соответствием модели природному потенциалу территории.
6. Сопоставление последовательных временных интервалов, повторяемости категорий изменений и регрессионных характеристик позволяет выявлять устойчивые траектории состояния земель. Динамическая диагностика состояния земель создаёт аналитические предпосылки прогнозирования и стратегического планирования, а также помогает определить основания для адаптивной корректировки моделей. Для прогноза служит сценарный анализ будущих воздействий и условий.
7. Индекс НБДЗ может использоваться как дополнительный интегральный показатель направленности изменений для сравнительного анализа территорий. Его применение особенно эффективно совместно с пространственной локализацией «горячих точек» деградации и территорий устойчивого улучшения, поскольку агрегированный индекс не заменяет анализа внутренней неоднородности территории.
8. Обоснован принцип территориальной обусловленности моделей УЗП, предусматривающий согласование структуры и функций комплекса практик с характеристиками конкретного территориального объекта. Семантическое моделирование и инфологическая структура «практики — объекты — алгоритмы локализации» представляют собой инструменты реализации данного принципа. Результаты экспертной оценки и динамической диагностики используются для последующей проверки и корректировки моделей.
9. Сформулирован принцип корректировки моделей на основе обратной связи между оценкой фактических изменений состояния земель и обоснованием состава и условий применения практик. Пересмотр решений предполагает уточнение ресурсной диагностики, анализ причин наблюдаемых изменений и согласование практик между пространственными уровнями.
10. Геоэкологическая концепция моделей устойчивого землепользования объединяет ресурсный подход, принципы системности и территориальной обусловленности, функциональную типологию, методы формирования и локализации моделей и динамическую оценку достижения НБДЗ. На её основе устанавливаются связи между природно-хозяйственными условиями территории, выбором комплекса практик и критериями проверки результатов, что создаёт научные предпосылки для стратегического планирования и адаптивного управления.

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. При разработке региональных и локальных программ по предотвращению деградации целесообразно сочетать официальный показатель ЦУР 15.3.1 с национальными и локальными диагностическими индикаторами, обеспечивающими причинную интерпретацию изменений.
2. Для территорий с высокой межгодовой изменчивостью следует дополнять фиксированную базовую оценку анализом перекрывающихся временных окон, повторяемости и коэффициентов долгосрочного тренда.
3. Выбор мер рекомендуется осуществлять посредством формирования территориально обусловленного комплекса взаимодополняющих практик, ориентированного на достижение НБДЗ. Последующая динамическая диагностика должна использоваться для проверки результативности и, при наличии достаточных данных, эффективности модели, а также для обоснования корректировки её состава и условий применения.
4. Реестры практик целесообразно развивать в направлении информационно-аналитических систем, связывающих описания практик с характеристиками объектов и прозрачными правилами локализации.
5. При применении динамических порогов и климатических триггеров необходима локальная калибровка и документирование неопределенности, а экспертные значения не должны представляться как универсальные нормативы.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ
(показаны только публикации в рецензируемых научных журналах из списков Web of Science, Scopus, RSCI)

1. К вопросу о картографическом моделировании эволюции почвенного покрова Русской равнины в голоцене / Куст Г. С., **Андреева О. В.**, Аветян С. А. // Вестник Московского университета. — 2004. — Серия 17: Почвоведение. № 4. Индексация: RSCI.
2. Systematic study of arid territories. Desertification assessment and mapping in Russian Federation / Kust G. S., **Andreeva O. V.**, Dobrynin D. V. // Arid Ecosystems. — 2011. — Vol. 1, No. 1, P. 14-28. Индексация: Web of Science, Scopus.
3. Experience in Testing and Adapting the LADA Methodology for Land Degradation Assessment and Mapping in Arid Regions at the Local Level / Slavko V. D., Kust G. S., Rozov S.Yu, **Andreeva O. V.**, Kegiyani M. G. // Arid Ecosystems. — 2014. — Vol. 4, No. 4(61), P. 259-269. Индексация: RSCI, Web of Science, Scopus.
4. Diagnostics of Desertification with the Use of Water Retention Curve of Soils / Shcherba T. E., Kust G. S., Smagin A. V., **Andreeva O. V.**, Slavko V. D. // Arid Ecosystems. — 2016. — Vol. 6, No. 4, P. 249-259. Индексация: RSCI, Web of Science, Scopus.
5. Desertification paradigm: 40 years of development and global efforts / Zonn I. S., Kust G. S., **Andreeva O. V.** // Arid Ecosystems. — 2017. — Vol. 7, No. 3, P. 131-141. Индексация: RSCI, Web of Science, Scopus.
6. Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment / Kust G., **Andreeva O.**, Cowie A. // Journal of Environmental Management. — 2017. — Vol. 195, No. 1, P. 16-24. Индексация: Web of Science, Scopus.
7. Uncertainties and policy challenges in Implementing Land Degradation Neutrality in Russia / Kust G., **Andreeva O.**, Vasily Lobkovskiy, Natalya Telnova // Environmental Science and Policy. — 2018. — Vol. 89, P. 348-356. Индексация: Web of Science, Scopus.
8. Land Assessment in Russia Based on the Concept of Land Degradation Neutrality / **Andreeva O. V.**, Kust G. S. // Regional Research of Russia. — 2020. — Vol. 10, No. 4, P. 593-602. Индексация : Scopus, RSCI.
9. Land Degradation Neutrality: the Modern Approach to Research on Arid Regions at the National Level / Kust G. S., **Andreeva O. V.**, Lobkovskiy V. A. // Arid Ecosystems. — 2020. — Vol. 10, P. 87-92. Индексация: RSCI, Web of Science, Scopus.
10. Soil erosion: An important indicator for the assessment of land degradation neutrality in Russia / Tsybarovich Petr, Kust German, Kumani Mikhail, Golosov Valentin, **Andreeva O.** // International Soil and Water Conservation Research. — 2020. — Vol. 8, No. 4, P. 418-429. Индексация: Web of Science, Scopus.
11. The Concept of Sustainable Land Management: Modern State, Models and Typology Development / **Andreeva O. V.**, Lobkovsky V. A., Kust G. S., Zonn I. S. // Arid Ecosystems. — 2021. — Vol. 11, No. 1, P. 1-10. Индексация: Web of Science, Scopus.
12. Experience in application and adaptation of the land degradation neutrality concept in the Russian Federation / Kust German, **Andreeva O.**, Lobkovskiy Vasily, Annagulyjova Jamal // Land Degradation and Development. — 2022. — P. 1-18. — DOI 10.1002/ldr.4484. Индексация: Web of Science, Scopus.
13. Sustainable Land Management and Land Degradation Neutrality / **Andreeva O. V.**, Kust G. S., Lobkovsky V. A. // Herald of the Russian Academy of Sciences. — 2022. — Vol. 92, No. 3, P. 285-296. Индексация: RSCI, Web of Science, Scopus.
14. The Scientific Basis for the Statement of Achievement Objectives for the Land Degradation Neutrality in Turkmenistan / Kust G. S., Durikov M.Kh, Lobkovsky V. A., **Andreeva O. V.**, Nepesov M. D., Mamedov B. K., Nicolaev N. V. // Arid Ecosystems. — 2022. — Vol. 12, No. 4, P. 441-454. Индексация: Web of Science, Scopus.

15. Интеграция международной и национальной систем мониторинга и оценки деградации земель в России / Лобковский В. А., **Андреева О. В.**, Куст Г. С. // Известия Российской академии наук. — 2022. — Серия географическая. Т. 86, № 1, С. 9-27. Индексация: Scopus, RSCI.
16. Application of the Concept of Land Degradation Neutrality for Remote Monitoring of Agricultural Sustainability of Irrigated Areas in Uzbekistan / Kust G., **Andreeva O.**, Shklyayeva D. // Sensors. — 2023. — Vol. 23, No. 14, Art. 6419. — DOI 10.3390/s23146419. Индексация: Web of Science, Scopus.
17. Assessment of the Dynamics of Land Cover at the Local Level to achieve Land Degradation Neutrality (for Desertified Lands of the Dry-Steppe Zavolzh'e) / Slavko V. D., **Andreeva O. V.**, Kust G. S. // Arid Ecosystems. — 2023. — Vol. 13, No. 1, P. 50-58. Индексация: RSCI, Web of Science, Scopus.
18. Моделирование устойчивого землепользования горных пастбищ Кыргызстана на основе эффективного управления практиками животноводства / **Андреева О. В.**, Куст Г. С., Лобковский В. А. // Известия Российской академии наук. — 2023. — Серия географическая. Т. 87, № 7, С. 1079-1096. Индексация: Scopus, RSCI.
19. Оценка нейтрального баланса деградации земель Самарской области с помощью глобальных и региональных индикаторов / Belyaeva M. V., Kust G. S., **Andreeva O. V.** // Вестник Московского университета. — 2023. — Серия 17: Почвоведение. Т. 78, № №3, 2023, С. 16-27. Индексация: RSCI.
20. Using the methodology of land degradation neutrality to assess the territory of the Caspian Region / Kust G. S., Shklyayeva D. S., Lobkovskiy V. A., **Andreeva O. V.** // Arid Ecosystems. — 2024. — Vol. 14, No. 2, P. 159-168. Индексация: RSCI, Web of Science, Scopus.
21. Достижение нейтрального баланса деградации земель как индикатор адаптации наземных экосистем к изменениям климата в Прикаспийском регионе / Куст Г. С., Лобковский В. А., **Андреева О. В.**, Шкляева Д. С. // Известия Российской академии наук. — 2024. — Серия географическая. Т. 88, № 3, С. 190-207. Индексация: Scopus, RSCI.
22. О возможности достижения устойчивого землепользования на землях, подверженных эрозии: вопросы управления и моделирования / **Андреева О. В.**, Куст Г. С. // Вестник Московского университета. — 2024. — Серия 17: Почвоведение. Т. 79, № 3, С. 38-48. Индексация: RSCI.
23. Инфологический подход к моделированию устойчивого землепользования на основе реестра успешных практик / Непесов М. Д., Сулова С. Б., Куст Г. С., **Андреева О. В.**, Лобковский В. А., Лобковская Л. Г., Хазиахметова Ю. А. // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. — 2025. — Т. 70, № 3, С. 561-578. Индексация: Web of Science, Scopus.
24. Temporal frequency analysis identifies land degradation hotspots and sustainable use bright spots / Eziz Anwar, Kust German, **Andreeva O.**, Podlesnov Vladimir, Ilniyaz Osman, Ren Hongjing, Tursun Arken, Ahmed Toqeer, Du Mingyuan, Song Jiahe, Lei Jiaqiang, Kurban Alishir, Azadi Hossein // CATENA. — 2026. — Vol. 274, Art. 110499. Индексация: Web of Science, Scopus.
25. Прогноз состояния и способ установления целей нейтрального баланса деградации земель с использованием комплексного динамического картографического анализа / Куст Г. С., **Андреева О. В.**, Подлеснов В. Д. // Аридные экосистемы. — 2026. — Т. 32, № 3, С. 61-72. Индексация: RSCI.