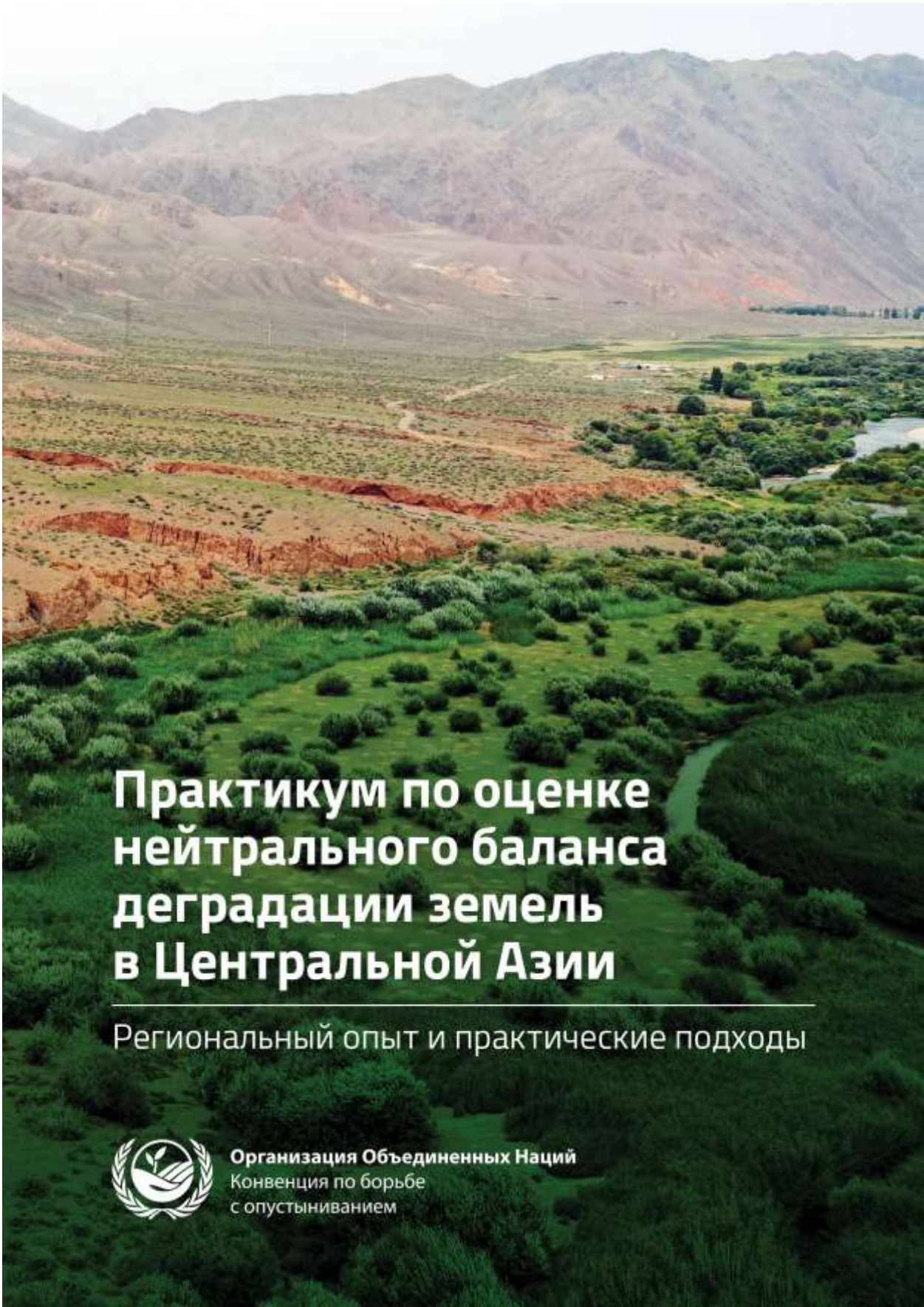




Практикум по оценке нейтрального баланса деградации земель в Центральной Азии

Региональный опыт и практические подходы



Организация Объединенных Наций
Конвенция по борьбе
с опустыниванием

**Практикум по оценке нейтрального
баланса деградации земель в
Центральной Азии: региональный опыт и
практические подходы**

ADVANCE COPY

Общее руководство:

Джонс Мулесо Харика, КБО ООН

Редакторы:

Ольга Андреева (КБО ООН), Герман Куст (ИГ РАН), Василий Лобковский (ИГ РАН),
Надежда Дементьева (КБО ООН)

Координатор: Ольга Андреева (КБО ООН)

Авторы:

Рысбек Апасов — Кыргызская Республика

Султан Вейсов — Туркменистан

Мухаммед Дуриков — Туркменистан

Дамир Иманкулов — Республика Казахстан

Хаджимурат Талипов — Республика Узбекистан

Собиржон Умаров — Республика Узбекистан

Муроджон Эргашев — Республика Таджикистан

Владимир Подлеснов — Российская Федерация

Мария Беляева — Российская Федерация

Рецензенты:

Мурат Темиржанов — Республика Казахстан

Алишер Байсеитов — Республика Казахстан

Маулен Омаров — Республика Казахстан

Татьяна Кудерина — Российская Федерация

Берды Бердыев — Туркменистан

Нуры Атамурадов — Туркменистан

Николай Николаев — Туркменистан

Азизбек Назаров — Республика Таджикистан

Азамат Шамиев — Кыргызская Республика

Баррон Джозеф Опп (КБО ООН),

Сара Минелли (КБО ООН),

Брайан О’Коннор (КБО ООН),

Колин Карранса (КБО ООН).

Фото на обложке:

Цитирование: Андреева Ольга, Куст Герман, Лобковский Василий, Дементьева Надежда, 2026. *Практикум по оценке нейтрального баланса деградации земель в Центральной Азии: региональный опыт и практические подходы*. КБО ООН, Бонн, Германия; Межрегиональная группа КБО ООН «Центральная Азия — Россия»

Издание подготовлено при финансовой поддержке Российской Федерации и в рамках мероприятий «дорожной карты» Межрегиональной группы КБО ООН «Центральная Азия – Россия»

Высказанные в настоящей публикации мнения принадлежат авторам и не обязательно отражают точку зрения Секретариата Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием или её Сторон



United Nations
Convention to Combat
Desertification

United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) Platz der Vereinten Nationen
1 D-53113 Bonn, Germany Tel: +49 (0) 228 815 2873 www.unccd.int

Настоящая публикация доступна:

<https://www.unccd.int/resources/publications/handbook-land-degradation-neutrality-assessment-central-asia-regional>

© 2026 UNCCD. All rights reserved.

Отказ от ответственности. Мнения, выраженные в настоящем рабочем документе, принадлежат его автору (авторам) и не обязательно отражают мнения КБО ООН, Организации Объединенных Наций или каких-либо связанных с ней организаций. Используемые обозначения и представление материала в настоящем информационном продукте не означают выражения со стороны Конвенции Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием (КБО ООН) какого бы то ни было мнения относительно правового статуса или уровня развития какой-либо страны, территории, города или района либо их органов власти, а также относительно делимитации их границ. Границы, показанные на картах в настоящем докладе, являются приблизительными, предназначены исключительно для целей визуального представления и не являются геопривязанными данными. Упоминание конкретных компаний или продукции определенных производителей, независимо от того, запатентованы они или нет, не означает, что КБО ООН одобряет или рекомендует их, отдавая им предпочтение перед другими компаниями или продукцией аналогичного характера, которые не упоминаются. 2026

Оглавление

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	8
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	9
Часть I. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ (НБДЗ).....	17
Введение.....	17
Глава 1. Концептуальная основа: от определения к диагностике.....	18
1.1. Что такое нейтральный баланс деградации земель?.....	18
1.2. Иерархия ответных мер: избегать, сокращать, восстанавливать.....	19
Глава 2. Система измерения: индикатор ЦУР 15.3.1 и его компоненты.....	20
2.1. Три глобальных субиндикатора: методы и метрики.....	20
2.2. Интеграция: принцип полного охвата, или «один против всех».....	25
Глава 3. Процесс постановки целей: четыре «строительных блока».....	26
Глава 4. Базовая линия и инструментарий: точка отсчета и способ измерения.....	27
4.1. Базовая линия: выбор периода для сравнения.....	27
4.2. Инструментарий реализации: Trends Earth.....	28
Глава 5. Рабочая схема методологии оценки НБДЗ: синтез руководств.....	29
Часть II. АДАПТАЦИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ МЕТОДОЛОГИИ НБДЗ К УСЛОВИЯМ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ: КЛЮЧЕВЫЕ ВЫЗОВЫ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ.....	30
Введение.....	30
Глава 6. Центральная Азия как целостный макрорегион: географическая специфика и социально-экономический портрет.....	31
6.1. Расширение географических границ: регион без искусственных рубежей.....	31
6.2. Природно-климатическая специфика: хрупкость аридных экосистем.....	32
6.3. Социально-экономические особенности.....	33
Глава 7. Специфика Центрально-Азиатского региона как объекта применения методологии НБДЗ.....	34
7.1. Природно-климатические особенности: "норма" аридности против глобальных шаблонов.....	34
7.2. Доминирующие типы землепользования и их уязвимость к процессам деградации	38
7.3. Трансграничный характер проблем.....	40
7.4. Социально-экономический и исторический контекст.....	40
7.5. Разнообразие природных и социально-экономических условий как вызов для установления единой базовой линии.....	42
7.6. Необходимость учета "генетической памяти" почв.....	43
7.7. Институциональная специфика мониторинга.....	44

7.8. Резюме: Центральная Азия как тест-полигон для адаптации методологии НБДЗ....	44
Глава 8. Анализ «белых пятен» и неопределенностей методологии НБДЗ в условиях Центральной Азии.....	46
8.1. Проблема интерпретации динамики наземного покрова.....	46
8.2. Проблема учета засоления	48
8.3. Проблема отражения динамики пастбищных экосистем.....	50
8.4. Проблема выбора репрезентативной базовой линии	52
8.5. Проблема учета исторического наследия («шум прошлого» и накопленные риски).....	54
8.6. Проблема «серых зон» в горах и предгорьях	55
8.7. Проблемы институционального и терминологического характера	58
8.8. Проблема применимости глобальных данных и необходимость их верификации ...	59
8.9. Итоговые методологические неопределенности и направления их устранения	60
Глава 9. Заключительные рекомендации по адаптации методологии НБДЗ для стран Центральной Азии	62
Заключение к части II	62
ЧАСТЬ III. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО АДАПТАЦИИ МЕТОДОЛОГИИ НБДЗ: РЕГИОНАЛЬНЫЕ КЕЙСЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ	64
Введение	64
Глава 10. Переход от статической оценки к динамическому пониманию деградации земель.....	65
10.1. Индекс НБДЗ как инструмент поддержки принятия решений.....	65
10.2. Решение проблемы базовой линии: переход к динамическому анализу изменчивости для использования на субнациональном и местном уровнях	66
Глава 11. Новые возможности использования динамической базовой линии и анализа временных рядов	69
Глава 12. Выявление «горячих точек» деградации земель и участков устойчивого восстановления.....	73
Глава 13. Анализ трендов. Переход от мониторинга к прогнозированию	76
13.1. Прогнозное моделирование на основе регрессионного анализа.....	76
13.2. Анализ динамики трендов для формирования стратегий землепользования.	78
Глава 14. Использование нейронных сетей и машинного обучения	82
Глава 15. Переосмысление классификации наземного покрова: модификация матриц переходов.....	85
Глава 16. Использование дистанционных данных высокого разрешения и современных методов их дешифрирования и интерпретации результатов	88
Глава 17. Индикаторы деградации земель и уровни их применимости	93

Глава 18. Решение институциональных проблем: проблема совместимости данных и координации прогнозов.....	102
Заключение: от разрозненных усилий – к региональному сотрудничеству.....	112
Заклучение к Части III.....	112
ЧАСТЬ IV. СИНТЕЗ МЕТОДОЛОГИИ: УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ АЛГОРИТМ	
ОЦЕНКИ НБДЗ И ДОРОЖНАЯ КАРТА ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ	115
Введение: От адаптации — к целостной системе	115
Глава 19. Поэтапный алгоритм регионально адаптированной интерпретации результатов оценки НБДЗ для Центральной Азии	116
Этап 1. Подготовительный: Зонирование территории и определение целей оценки.....	117
Этап 2. Переход к динамической базовой линии: установление «территориальной нормы» и переход к анализу трендов.....	120
Этап 3. Многоуровневая система индикаторов: от глобального скрининга к локальной диагностике	123
Этап 4. Дополнительная интерпретация интегральной оценки: анализ избыточности индикаторов, чувствительности результатов и приоритизация мер без замены принципа 10АО.....	127
Этап 5. Углубленная диагностика: анализ повторяемости, идентификация механизмов и сценарная интерпретация.....	130
Этап 6. Интерпретация результатов и выбор дифференцированной стратегии управления.....	135
Этап 7. Прогнозирование и адаптивное управление	140
Глава 20. Масштабирование алгоритма: от национального уровня до конкретного поля	140
Глава 21. Отраслевая специфика: пашня, пастбища, леса	141
Глава 22. Дорожная карта будущих исследований и развития методологии НБДЗ в Центральной Азии.....	143
Заклучение.....	144
Список литературы.....	145

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АБР	- Азиатский банк развития
БПЛА	- беспилотный летательный аппарат
ГИС	- геоинформационная система
ГЭФ	- Глобальный экологический фонд
ДЗЗ	- дистанционное зондирование Земли
КБО	- Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием
ИГРАН	- Институт географии Российской академии наук
МРГ	- Межрегиональная группа «Центральная Азия — Россия»
МГЭИК	- Межправительственная группа экспертов по изменению климата
НБДЗ	- нейтральный баланс деградации земель
НИИ	- научно-исследовательский институт
ОДЗЗ	- опустынивание, деградация земель и засуха
ООН	- Организация Объединённых Наций
ПК	- пастбищные комитеты
ПОУ	- почвенный органический углерод
ПРООН	- Программа развития ООН
УЗП/УУЗР	- устойчивое землепользование / устойчивое управление земельными ресурсами
ФАО	- Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН
ЦА	- Центральная Азия
ЦУР	- Цели Устойчивого Развития
10AO	- One-Out, All-Out
AVHRR	- Advanced Very-High-Resolution Radiometer
BAU	- Business-as-Usual
CACILM	- Central Asian Countries Initiative for Land Management
ESA CCI	- The European Space Agency Climate Change Initiative
GIZ	- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
IPCC	- Intergovernmental Panel on Climate Change
LAI	- Leaf Area Index
LDN TSP	- Land Degradation Neutrality Target Setting Programme
MODIS	- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NDVI	- Normalized difference vegetation index
NDWI	- Normalized Difference Water Index
NDSI	- Normalized Difference Soil Index
PRAGA	- Participatory Rangeland and Grassland Assessment
PRAIS	- Performance Review and Assessment of Implementation System
RUSLE	- Revised Universal Soil Loss Equation
SAVI	- Soil Adjusted Vegetation Index
QGIS	- Quantum GIS, software
UNCCD	- United Nations Convention to Combat Desertification

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий Практикум подготовлен в рамках реализации мероприятий «дорожной карты» Межрегиональной группы «Центральная Азия — Россия» (МРГ), созданной по инициативе делегаций стран региона в 2019 году на 14-й сессии Конференции Сторон Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО) в Нью-Дели, Индия. В состав МРГ входят Республика Казахстан, Кыргызская Республика, Республика Таджикистан, Туркменистан, Республика Узбекистан и Российская Федерация — государства, связанные не только общей историей и географической близостью, но и схожими вызовами в области опустынивания, деградации земель и засух, управления земельными ресурсами и адаптации к изменению климата.

Документ подготовлен в ответ на запрос стран-участниц МРГ, сформулированный в ходе заседания Бюро Группы в мае 2024 года [103], на котором был представлен отчет рабочей группы по вопросам нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ).

Документ рассматривается как региональный справочник и практический инструмент, обобщающий имеющийся региональный опыт оценки, интерпретации и практического применения подходов к нейтральному балансу деградации земель. Он не заменяет методические подходы, изложенные в Руководстве по надлежащей практике (Good Practice Guidance) по показателю ЦУР 15.3.1, и не подменяет процедуры официальной национальной отчетности, представляемой странами через платформу PRAIS. Предлагаемые в Практикуме дополнительные индикаторы, региональные интерпретации и аналитические подходы предназначены для верификации результатов, уточнения причин деградации и поддержки принятия решений на национальном, субнациональном и локальном уровнях. С учетом накопленного в регионе научно-методического опыта в области оценки деградации земель, Бюро рекомендовало разработать проектное предложение по подготовке «Практикума по оценке НБДЗ в Центральной Азии», максимально адаптированного к специфическим природным, социально-экономическим и институциональным условиям стран Центральной Азии.

Соответствие глобальной повестке и региональный запрос

Разработка настоящего документа не является изолированной инициативой, а соответствует направлениям работы КБО по укреплению обмена знаниями, передаче технологий, распространению практических инструментов и поддержке инновационных подходов в области устойчивого управления земельными ресурсами. В этом отношении Практикум согласуется с положениями решения 18/COP.16 «Обмен знаниями, передача технологий и инновации» [68], в котором подчеркивается необходимость укрепления механизмов обмена знаниями и продвижения практических решений для борьбы с опустыниванием, деградацией земель и засухой, включая достижение нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ). В решении Стороны призываются содействовать распространению практических инструментов и методических решений, поддерживающих устойчивое управление земельными ресурсами и реализацию национальных целей по НБДЗ. Настоящий Практикум разработан как прикладной инструмент, ориентированный на поддержку стран в совершенствовании методологических подходов к оценке, мониторингу и достижению НБДЗ с учетом региональной специфики и ориентированный на конечного пользователя. Практикум не вводит новую официальную методику отчетности по ЦУР

15.3.1, а предлагает регионально адаптированные подходы к интерпретации, верификации и практическому использованию результатов оценки НБДЗ. Практикум строится на том, что глобальные подходы, как бы универсальны они ни были, требуют «тонкой настройки» на специфику аридных и семиаридных территорий Центральной Азии — с их особыми формами землепользования, системами орошаемого земледелия и экстенсивного пастбищного животноводства. Практическая направленность и доступность документа обеспечиваются структурированным изложением методологии в виде поэтапных алгоритмов, схем принятия решений, матриц интерпретации показателей и чек-листов для национальных экспертов. В Практикум включены типовые расчетные подходы, примеры адаптации глобальных данных к национальному уровню и рекомендации по минимальному набору входных данных, необходимых для воспроизводимой оценки. Такой формат позволяет использовать Практикум как рабочий инструмент для специалистов профильных ведомств, сохраняя при этом согласованность с глобальными методологическими рамками Конвенции.

Методологическая основа и учет регионального опыта

При подготовке Практикума авторы опирались на фундаментальные подходы, рекомендованные КБО, что обеспечивает его согласованность с глобальными стандартами отчетности и научную обоснованность. Ключевыми документами, составившими основу исследования, стали: *Good Practice Guidance. SDG Indicator 15.3.1. Proportion of land that is degraded over total land area, 2021* [66]; *Addendum to the good practice guidance. SDG indicator 15.3.1 Proportion of land that is degraded over total land area. Version 2.0* [70], *The Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality (LDN), 2017* [47]; *Land Degradation Neutrality Target Setting – A Technical Guide, 2016* [64]; *Achieving Land Degradation Neutrality at the country level. Building blocks for LDN target setting* [65]; *Trends.Earth. A new tool to assess the health of the land that supports us* [52]. Эти документы задали методологическую рамку, в то время как накопленный в странах региона опыт позволил наполнить эту рамку конкретным содержанием и подчеркнуть региональную специфику. В настоящем Практикуме проводится четкое разграничение между официальной методологической основой расчета показателя ЦУР 15.3.1 и дополнительными аналитическими подходами, предлагаемыми для условий Центральной Азии. Официальный расчет показателя ЦУР 15.3.1 основывается на трех глобальных субиндикаторах: динамике наземного покрова, динамике продуктивности земель и динамике запасов почвенного органического углерода. Дополнительные и альтернативные индикаторы, рассматриваемые в настоящем документе, используются для уточнения причин деградации, верификации результатов, оценки рисков и поддержки управленческих решений. В случае использования таких индикаторов для уточнения статуса земель в рамках официальной отчетности важно обеспечить прозрачное описание методики, документирование используемых подходов и согласованность с национальными процедурами оценки.

Особую ценность для настоящей работы представил анализ результатов недавних проектов и инициатив, реализованных в Центральной Азии и сопредельных территориях. В их числе:

- Результаты инициатив по установлению добровольных целей НБДЗ (LDN TSP 1.0 и LDN TSP 2.0) в странах региона [37-41];
- Проекты Программы развития ООН, Всемирного банка, ФАО и других международных партнеров;
- Опыт применения методологии НБДЗ в рамках проектов, связанных с оценкой деградации пастбищ, засоления орошаемых земель и динамики продуктивности агроэкосистем (включая материалы, подготовленные при поддержке

государственных проектов в странах региона и других институтов развития) [14, 15, 16, 28-33 и др.];

- Национальные отчеты стран региона, представленные в КБО через платформу PRAIS.
- Национальные и межстрановые инициативы (стратегии, программы, дорожные карты) [83, 98, 99, 104-106, 109-111, и др.].

Учет результатов этих проектов позволил не только описать предлагаемые подходы, но и продемонстрировать их применимость на реальных примерах.

Широкое участие в процессе разработки и авторский коллектив

Важно подчеркнуть, что Практикум разрабатывался в тесном диалоге со всеми заинтересованными сторонами. На протяжении всего периода подготовки промежуточные результаты исследования регулярно обсуждались с национальными экспертами и представителями стран-участниц МРГ. Ключевыми этапами этого процесса стали презентация предварительных выводов и сбор экспертных замечаний в ходе мероприятий на полях 23 сессии Конференции по рассмотрению осуществления Конвенции (КРОК) КБО в Панаме (декабрь 2025 г.), а также обсуждения на заседаниях Бюро Межрегиональной группы «Центральная Азия — Россия», в том числе проведенных в очном формате в Алматы (октябрь 2025 г.) и Москве (апрель 2026 г.).

Помимо официальных встреч, при поддержке секретариата КБО были организованы серии консультаций и углубленных интервью с ключевыми экспертами и представителями научных кругов, профильных министерств и ведомств всех стран Центрально-Азиатского региона. Полученные комментарии были систематизированы и учтены при доработке текста, что позволило усилить содержательную полноту документа и его соответствие приоритетам и практическим потребностям стран. Авторский коллектив Практикума сформирован на широкой представительной основе. В работе над документом приняли участие эксперты из всех шести стран-участниц МРГ, включая членов Бюро МРГ, национальных координаторов и ведущих специалистов в области оценки земельных ресурсов, дистанционного зондирования и устойчивого землепользования. Такой формат взаимодействия обеспечил интеграцию и синтез национального опыта, повысив обоснованность и сбалансированность предлагаемых методических решений. Координация работы и научно-методическое сопровождение осуществлялись секретариатом КБО. Руководство проектом, включая организацию консультационного процесса и научное редактирование, обеспечивалось программным координатором по научным вопросам отдела науки, технологий и инноваций (STI Unit) под общим наблюдением руководителя отдела. Экспертная поддержка по специализированным направлениям предоставлялась международным техническим консультантом и специализированной группой экспертов – представителей МРГ. Такая структура взаимодействия позволила обеспечить коллективный характер разработки, соответствие Практикума методологическим стандартам КБО и его интеграцию в глобальный научно-политический контекст по вопросам нейтрального баланса деградации земель.

Цели и структура Практикума

Цель настоящего Практикума — показать, как глобальная методология расчета показателя ЦУР 15.3.1 может применяться и интерпретироваться с учетом природных, социально-экономических и институциональных условий стран Центральной Азии. Особое внимание уделяется верификации данных, уточнению причин деградации и поддержке принятия решений при сохранении согласованности с методологической рамкой КБО. С этой целью данный документ включает:

1. Анализ результатов установления и актуализации добровольных целей НБДЗ в странах Центральной Азии, обобщение лучших практик и извлеченных уроков.
2. Разработку основных принципов выбора и расчета альтернативных и дополнительных национальных индикаторов.
3. Оценку перспектив практического применения концепции НБДЗ для идентификации передового опыта в области устойчивого землепользования с целью продвижения проектов по восстановлению земель.
4. Анализ подходов к установлению целевых показателей НБДЗ на национальном, субнациональном и местном уровнях.
5. Обобщение рекомендаций для дальнейшего развития процесса установления целей НБДЗ (LDN TSP2) в странах региона.

Структура настоящего Практикума обеспечивает последовательное движение от понимания глобальных принципов к их практическому применению с учетом региональной специфики.

В первой части рассматривается общая схема оценки НБДЗ, основанная на анализе базовых рекомендаций КБО и инструментария Trends.Earth. Приводятся фундаментальные подходы к определению трех основных индикаторов, составляющие основу для расчета показателя ЦУР 15.3.1 (динамика наземного покрова, продуктивности земель, запасов почвенного органического углерода) и принципы установления базовой линии. Этот раздел служит своеобразным введением в методологию, позволяя специалистам, не знакомым с ней детально, получить целостное представление о предмете.

Вторая часть посвящена анализу «белых пятен» и неопределенностей, которые возникают при попытке прямого применения глобальных подходов в условиях Центральной Азии. К ним относятся, в частности, вопросы адекватного отражения динамики пастбищных экосистем, учета засоления орошаемых почв, выбора репрезентативных временных периодов для определения базовой линии в условиях высокой межгодовой изменчивости климата, а также проблемы, связанные с историческим контекстом землепользования.

В третьей части предлагаются конкретные способы разрешения выявленных проблем. Каждое методическое решение проиллюстрировано примерами (кейсами) из стран региона. Такой подход позволяет не только декларировать тот или иной метод, но и показать его применимость на реальных данных из Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана, Узбекистана и России. Это превращает Практикум из простого свода рекомендаций в научно обоснованный инструмент на стыке науки и политики, опирающийся на обширный региональный опыт и предназначенный для поддержки принятия управленческих решений.

В завершающей части представлен синтез глобальных методологических подходов и регионального опыта, который может служить основой для дополнительной интерпретации результатов оценки НБДЗ и поддержки принятия решений в условиях Центральной Азии. Здесь также сформулированы рекомендации по направлениям, которые требуют дальнейшей проработки, уточнения и апробации. В этом смысле завершающая часть предлагает практическую «дорожную карту» для последующей работы, включая развитие регионально адаптированных подходов к интерпретации результатов оценки НБДЗ и внедрению методов устойчивого землепользования в условиях Центральной Азии.

Развитие и открытость к сотрудничеству

Представленный Практикум рассматривается как документ, подлежащий поэтапному совершенствованию по мере развития методологии НБДЗ, появления новых научных данных, обновления глобальных наборов данных и инструментов мониторинга. Учитывая динамичный характер научно-методической базы КБО, положения настоящего Практикума могут уточняться и дополняться в рамках последующих редакций.

Версия документа: v1.0

Дата публикации: Август 2026 г.

Обновленные редакции и сопроводительные материалы будут размещаться на официальных ресурсах КБО и Межрегиональной группы «Центральная Азия — Россия»

Информация о внесенных изменениях будет отражаться в последующих версиях документа с указанием даты обновления и краткого описания корректировок.

Такой подход направлен на обеспечение прозрачности, воспроизводимости и актуальности методических рекомендаций, а также на поддержку постоянного диалога с научным и экспертным сообществом стран региона.

Благодарности

Авторский коллектив выражает искреннюю признательность представителям Бюро МРГ, национальным координаторам КБО и экспертам из Казахстана, Кыргызстана, России, Таджикистана, Туркменистана и Узбекистана за предоставленные материалы, конструктивные дискуссии и ценные замечания. Особая благодарность — сотрудникам секретариата КБО и Глобального механизма за методическую поддержку и содействие в организации консультаций.

При подготовке Практикума, помимо данных, находящихся в открытом доступе, по согласованию с правообладателями использовались материалы следующих проектов:

- ПРООН-Туркменистан, 2025. Проект ПРООН/ГЭФ «Сохранение и устойчивое управление земельными ресурсами и экосистемами высокой природной ценности в бассейне Аральского моря для получения множественных выгод» (Аральский проект);
- ПРООН-Узбекистан, 2025. Проект ПРООН/ГЭФ «Сохранение и управление озерами, водно-болотными угодьями и прибрежными коридорами как основа устойчивого и нейтрального к деградации земель ландшафта бассейна Аральского моря, поддерживающего устойчивое жизнеобеспечение» (Aral wetlands);

- ИГ РАН, 2025. Государственное задание Института географии Российской академии наук «Научно-методическое обеспечение реализации концепции нейтрального баланса деградации земель для оценки состояния земель на субнациональном уровне»;
- Сбер, 2025. Проект Банка Сбер «Применение моделей искусственного интеллекта для мониторинга и оценки процессов деградации почв и опустынивания, в том числе на основе данных дистанционного зондирования Земли».

Мы надеемся, что данный Практикум станет надежной основой для дальнейшего углубления научно-технического сотрудничества в регионе и будет способствовать разработке и реализации эффективных проектов по борьбе с деградацией земель и достижению нейтрального баланса деградации земель в Центральной Азии и сопредельных государствах.

Межрегиональная рабочая группа КБО ООН «Центральная Азия – Россия»

Астана – Бишкек – Душанбе – Ашхабад – Ташкент – Москва

Август 2026 г.

Да. Во всем тексте заменяю «Руководство» на «Практикум», включая название публикации и соответствующие надежные формы.

Предисловие

Нейтральный баланс деградации земель предоставляет Сторонам общую основу для сохранения земельных ресурсов, от которых зависят продовольственная безопасность, средства к существованию, функционирование экосистем, а также устойчивость к засухам и изменению климата. Однако воплощение этой глобальной цели в эффективные практические действия требует большего, чем применение единого набора показателей. Для этого необходимы надежная научная основа, достоверные национальные данные и четкое понимание того, как функционируют земельные системы в конкретных экологических, социальных и экономических условиях.

Центральная Азия представляет собой особенно важный региональный контекст для продвижения этой работы. Засушливые и полузасушливые экосистемы региона, высокая климатическая изменчивость, обширные пастбищные территории, системы орошаемого земледелия и общие природные ресурсы создают как существенные вызовы, так и значительные возможности для реализации нейтрального баланса деградации земель. Эти условия подчеркивают важность дополнения глобально согласованных подходов к оценке надежными региональными и национальными исследованиями, способными раскрыть движущие факторы, траектории и последствия деградации земель.

«Практикум по оценке нейтрального баланса деградации земель в Центральной Азии: региональный опыт и практические подходы» является своевременным вкладом в достижение этой цели. Он опирается на научную концептуальную основу нейтрального баланса деградации земель и согласованную методологическую базу показателя ЦУР 15.3.1, одновременно рассматривая возможности более эффективной верификации, интерпретации и практического применения результатов оценки с учетом специфических условий Центральной Азии. Практикум не ставит своей целью заменить установленную методологию официальной отчетности. Напротив, он демонстрирует, каким образом региональные данные, национальные наборы данных, полевые наблюдения и дополнительные аналитические методы могут повысить точность, актуальность для принятия решений и практическую применимость оценок НБДЗ.

Особая ценность настоящей публикации заключается в ее опоре на региональные научные знания и практический опыт. Примеры и методологические подходы, представленные Казахстаном, Кыргызстаном, Таджикистаном, Туркменистаном, Узбекистаном и Российской Федерацией, демонстрируют значение региональных исследований для рассмотрения вопросов, которые не всегда могут быть в полной мере отражены исключительно с использованием глобальных наборов данных. К ним относятся засоление орошаемых земель, изменения состояния и состава пастбищной растительности, влияние высокой межгодовой климатической изменчивости,

исторически сложившиеся особенности землепользования и выявление устойчивых очагов деградации.

Региональные исследования такого рода имеют принципиальное значение для укрепления взаимодействия между наукой и политикой. Они позволяют перейти от простого выявления деградированных территорий к более глубокому пониманию причин деградации, темпов ее развития и наиболее целесообразных мер реагирования. Объединяя данные дистанционного зондирования, результаты полевых исследований, местные знания, анализ временных рядов и институциональный опыт, Практикум формирует практическую основу для более адресного планирования, инвестирования и устойчивого управления земельными ресурсами.

Публикация также демонстрирует важность регионального сотрудничества. Деградация земель, засухи, песчаные и пыльные бури, водные потоки и пастбищные системы нередко выходят за пределы национальных границ. Совместная разработка методологических подходов, сопоставимые оценки, скоординированное развитие потенциала и обмен научными знаниями и опытом могут, таким образом, приносить результаты, значительно выходящие за рамки отдельных проектов или стран. Межрегиональная группа КБО ООН «Центральная Азия — Россия» представляет собой важную платформу для поддержания такого сотрудничества и обеспечения того, чтобы региональные знания вносили вклад в более широкое осуществление Конвенции.

Практикум был подготовлен в рамках широкого, инклюзивного и основанного на участии процесса, объединившего знания и опыт национальных экспертов, научных учреждений, представителей государственных органов, национальных координационных центров КБО ООН, а также региональных и международных партнеров. Такое широкое взаимодействие укрепило научную обоснованность, региональную значимость и практическую применимость документа. В конечном итоге его ценность будет определяться тем, насколько эффективно он будет использоваться для укрепления национальных систем мониторинга, совершенствования планирования землепользования, содействия реализации добровольных целевых показателей НБДЗ и направления инвестиций на предотвращение, сокращение и обращение вспять деградации земель.

Дальнейшие инвестиции в региональные исследования, научное сотрудничество и развитие национального экспертного потенциала будут и впредь иметь ключевое значение для обеспечения того, чтобы согласованные на глобальном уровне обязательства воплощались в эффективные, учитывающие местные условия и устойчивые действия в интересах земель и людей.

Джонс Мулесо Харика

Руководитель

Отдел науки, технологий и инноваций

Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием

Часть I. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ (НБДЗ)

Введение

Настоящая часть представляет исходную методологическую основу для сложной, но крайне важной темы количественной оценки деградации земель. За последнее десятилетие международным сообществом под эгидой КБО была проделана огромная работа по созданию стройной, научно обоснованной и практико-ориентированной системы. Именно она позволяет перевести концепцию нейтрального баланса из области теории в плоскость конкретных измерений и управленческих решений.

В основе этой части — анализ и синтез нескольких ключевых документов, которые сформировали современный подход к оценке НБДЗ:

1. **The Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality (LDN)** [47] — фундаментальная научная основа, определяющая принципы, механизмы и понятийный аппарат НБДЗ.
2. **Land Degradation Neutrality Target Setting — A Technical Guide** [64] — практическое руководство по запуску процесса установления национальных целей НБДЗ.
3. **Achieving Land Degradation Neutrality at the country level. Building blocks for LDN target setting** [65] — документ, детализирующий четыре основных «строительных блока» процесса: вовлечение участвующих сторон, оценка, установление целей и достижение НБДЗ.
4. **Good Practice Guidance. SDG Indicator 15.3.1** [66] — главный технический документ, содержащий подробные инструкции по расчету индикатора ЦУР 15.3.1 и его трех субиндикаторов, включая математический аппарат и работу с данными.
5. **Addendum to the good practice guidance. SDG indicator 15.3.1 Proportion of land that is degraded over total land area. Version 2.0** [70].
6. **Trends.Earth** [52] — инструмент, созданный для операционализации вышеуказанных руководств, позволяющий любой стране провести оценку динамики состояния земель с использованием глобальных данных и передовых алгоритмов.

Цель этого раздела — дать целостное и структурированное представление о том, как именно измеряется деградация земель. Здесь не просто перечисляются основные индикаторы, но и прослеживается логика их выбора, разбираются принципы определения базовой линии, рассматривается иерархия мер («избегать — сокращать — восстанавливать») и, что самое важное, все это представлено в виде рабочей схемы последовательности этапов базовой методологии, вытекающей из публикаций КБО. Это необходимый фундамент для понимания региональной специфики и тех вызовов, которые будут подробно рассмотрены во второй части Практикума.



Рисунок 1. Концептуальная схема системы мер НБДЗ в странах Центральной Азии

Глава 1. Концептуальная основа: от определения к диагностике

1.1. Что такое нейтральный баланс деградации земель?

Нейтральный баланс деградации земель определяется КБО как «состояние, при котором количество и качество земельных ресурсов, необходимых для поддержки экосистемных функций и услуг, а также повышения продовольственной безопасности, остаются стабильными или увеличиваются в рамках определённых временных и пространственных масштабов и экосистем» [62, 63]. Ранние подходы к практической реализации принципа нулевой чистой деградации земель рассмотрены в [6].

Концепция НБДЗ, принятая странами — участниками КБО, задаёт стратегический ориентир, направленный на сохранение и восстановление земельных ресурсов. Ключевым элементом данной концепции является принцип «нейтральности». Речь идет не о полном прекращении процессов деградации, что в условиях хозяйственной деятельности зачастую невозможно, а о достижении сбалансированного состояния. Такой баланс подразумевает, что любые новые потери здоровых и экологически функциональных земель (деградация) компенсируются эквивалентными мерами по их восстановлению или их улучшением (восстановлением) в пределах сопоставимых типов земель и в сопоставимые временные рамки.

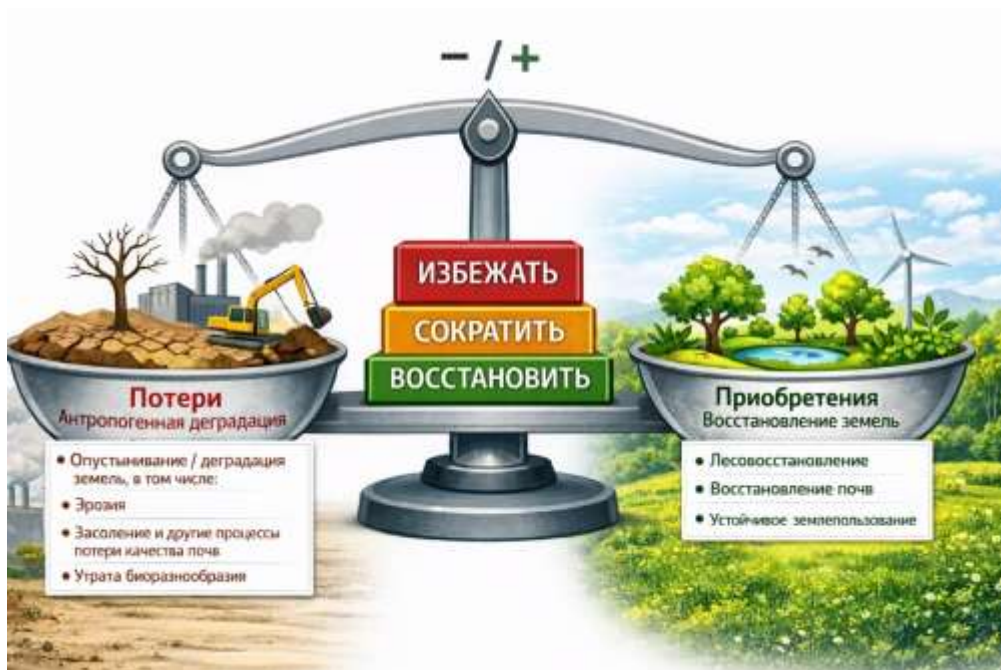


Рисунок 2. Концептуальная схема НБДЗ "Баланс потерь и приобретений"

Научная концептуальная основа НБДЗ, изложенная в [7], базируется на пяти модулях: Видение (Vision), Система отсчета (Frame of Reference), Механизм достижения нейтральности (Mechanism for Neutrality), Достижение (Achieving) и Мониторинг (Monitoring). Эта структура подчеркивает, что НБДЗ — это не разовая оценка, а циклический процесс планирования, действия и контроля.

1.2. Иерархия ответных мер: избегать, сокращать, восстанавливать

Базовая концепция нейтрального баланса деградации земель была детально описана в работе [2]. Ключевой принцип, заложенный в концептуальную основу, — это иерархия ответных мер (Response Hierarchy). Она определяет приоритетность действий при планировании вмешательств:

1. **Избегать (Avoid):** Предотвращение деградации — самый эффективный и экономически выгодный путь. Это означает защиту здоровых и продуктивных земель через устойчивое управление (например, регулирование выпаса, защитное лесоразведение).
2. **Сокращать (Reduce):** Если деградация уже происходит или неизбежна, необходимо приложить усилия для снижения ее темпов и масштабов (например, внедрение водосберегающих технологий на орошаемых землях для предотвращения засоления).
3. **Восстанавливать (Reverse):** Меры по восстановлению уже деградированных земель. Это наиболее затратный и долгосрочный путь, который применяется в тех случаях, когда предотвращение и сокращение деградации уже недостаточны.

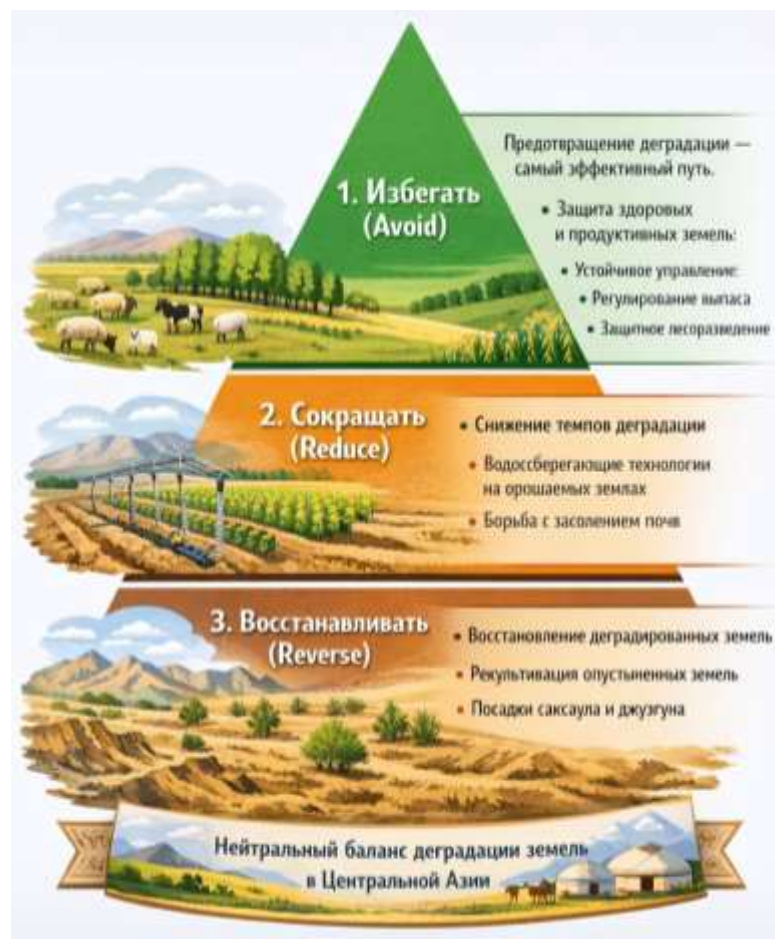


Рисунок 3. Иерархия мер НБДЗ

Глава 2. Система измерения: индикатор ЦУР 15.3.1 и его компоненты

Для мониторинга прогресса в достижении НБДЗ Статистической комиссией ООН был утвержден показатель **ЦУР 15.3.1: «Доля деградированных земель в общей площади суши»** [54]. Согласно Руководству по надлежащей практике (Good Practice Guidance), этот показатель является интегральным и рассчитывается на основе трех субиндикаторов, каждый из которых отражает разные различные аспекты состояния земель и связанных с ними экосистемных функций. Дополнительные показатели, включая индексы засоления, эрозионные модели, данные агрохимического мониторинга, показатели пастбищной нагрузки и другие национальные данные, могут использоваться для интерпретации, верификации и уточнения результатов оценки. В случае их применения для определения или уточнения статуса земельного участка в рамках официальной отчетности необходимо обеспечить методологическую прозрачность, документирование используемых подходов и согласованность с национальными процедурами оценки.

2.1. Три глобальных субиндикатора: методы и метрики

1. Динамика наземного покрова (Land Cover Dynamics)

Этот субиндикатор отвечает на вопрос: «Изменился ли тип наземного покрова?». Оценка проводится путем сравнения двух или более карт за разные годы.

- **Методология.** Глобальные классификации (например, ESA CCI [11]) для целей глобальной оценки КБО сводятся к 7 базовым классам: лесные земли, пастбища, пахотные земли, водно-болотные угодья, искусственные поверхности, голые земли и водные объекты.
- **Матрица переходов.** Не все смены классов означают деградацию. Для интерпретации используется специальная матрица, где каждый возможный переход (например, из «леса» в «пахню») оценивается как «деградация», «улучшение» или «стабильность». Матрица может быть как глобальная, так и национально-адаптируемая, при условии документирования методологических решений.

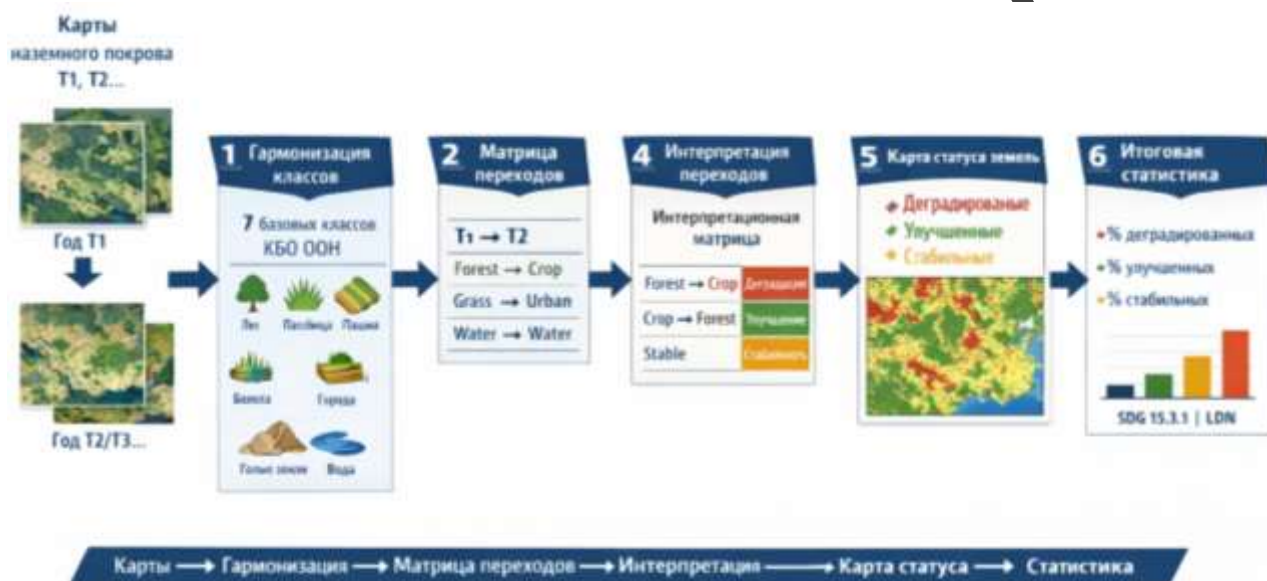


Рисунок 4. Алгоритм оценки изменений наземного покрова

Кейс 1. Динамика изменения наземного покрова в Казахстане с 2001 по 2020 год [34].

Контекст: Для оценки переходов земель из одного класса в другой на национальном уровне необходимо визуализировать эти изменения и понять, где именно они происходят.

Применение метода: На основе данных, получаемых в автоматическом режиме с помощью модуля Trends.Earth, формируются картографические материалы, позволяющие сравнивать состояние наземного покрова в разные годы.

Результат: Картографическая обработка предоставляет информацию о взаимных изменениях классов земель, включая площади переходов, направления изменений, их пространственное распределение, а также потенциальные зоны деградации и улучшения.

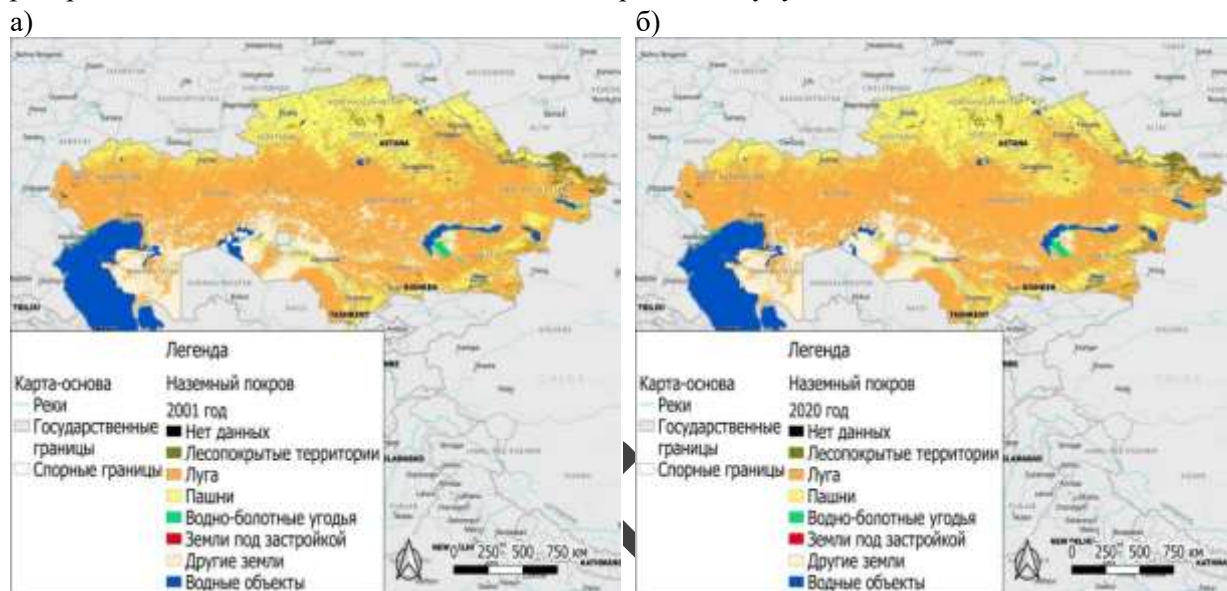


Рисунок 5. Картограммы состава наземного покрова в Казахстане за 2001 г. (а) и за 2020 г. (б)

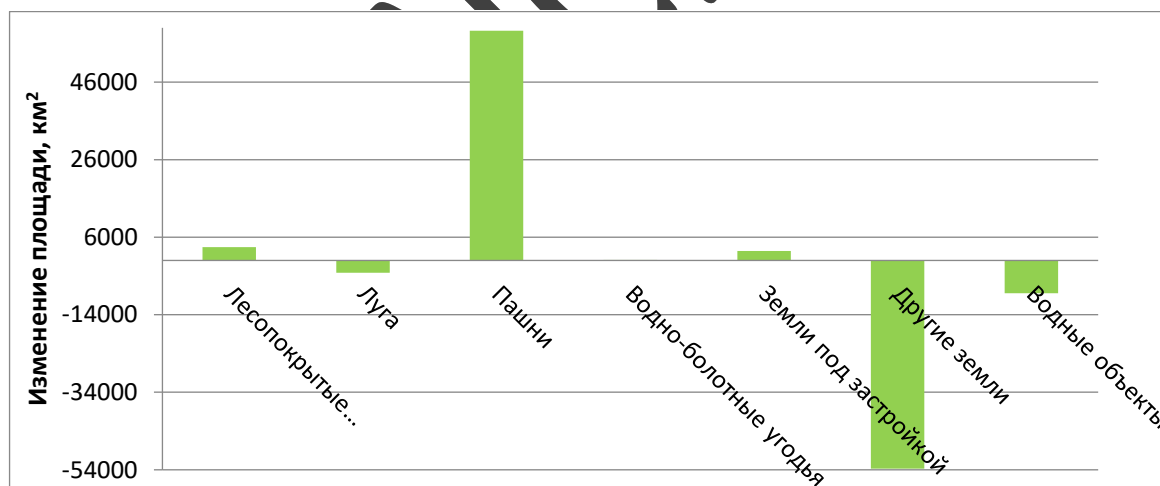


Рисунок 6. Изменения площадей типов наземного покрова в Казахстане за период с 2001 по 2020 гг.

2. Динамика продуктивности земель (Land Productivity Dynamics)

Этот субиндикатор часто рассматривается как один из наиболее чувствительных индикаторов деградации земель. Он отвечает на вопрос: «Улучшилась ли продуктивность растительности на данном участке по сравнению с прошлым периодом?». Оценка базируется на многолетних рядах вегетационных индексов (NDVI, получаемый со спутников MODIS/AVHRR) и включает три обязательные метрики:

- **Траектория (Trend):** Статистически значимый тренд продуктивности за весь период наблюдений. Рассчитывается с использованием непараметрического теста Манна-Кендалла. Устойчивое снижение NDVI интерпретируется как деградация.
- **Состояние (State):** Сравнение средней продуктивности последних лет (обычно 3 года) со средним историческим уровнем за базовый период. Значительное снижение указывает на недавнюю деградацию.
- **Производительность (Performance):** Сравнение продуктивности конкретного участка с другими участками, имеющими схожий почвенно-растительный потенциал. Если продуктивность участка составляет менее 50% от максимальной для данного типа земель, это считается деградацией.

Кейс 2. Динамика продуктивности земель в Бухарской области Узбекистана (по материалам проекта ПРООН-Узбекистан, 2025 [121]).

Методология: Для оценки динамики продуктивности земель используются многолетние ряды вегетационных индексов, прежде всего NDVI, рассчитываемые на основе данных дистанционного зондирования. Анализ включает оценку долгосрочного тренда продуктивности, сравнение текущего состояния с историческим уровнем, а также сопоставление продуктивности участка с территориями, имеющими сходный биофизический потенциал. Такой подход позволяет выявлять зоны устойчивого снижения, стабильности или улучшения продуктивности земель.

Контекст: Для формирования задач по инвестициям в отношении разных типов земель на субнациональном уровне необходимо было понять, возрастает или снижается продуктивность земель в долгосрочной перспективе, и где именно.

Применение метода: На основе данных, получаемых в автоматическом режиме с помощью модуля Trends.Earth, проводится картографический анализ и формируются обширные таблицы-матрицы, служащие для последующих расчетов.

Результат: Обработка первичных результатов может предоставить в графической форме такие сведения, как: общие данные по состоянию продуктивности, агрегирование сведений по улучшению-ухудшению-стабильному состоянию продуктивности, распределение основных изменений по категориям земель, общие выводы.

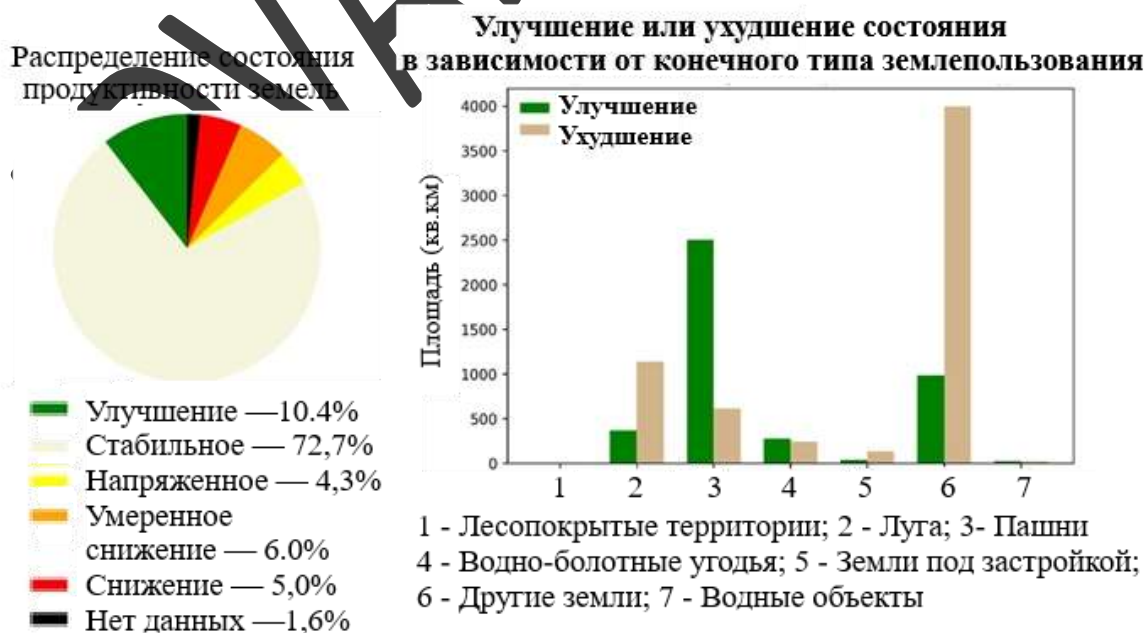


Рисунок 7. Динамика продуктивности земель в Бухарской области за период с 2001 по 2020 гг.

3. Динамика запасов почвенного органического углерода (Soil Organic Carbon Dynamics)

Запасы почвенного органического углерода являются важным интегральным показателем состояния, здоровья и плодородия почв. Учитывая сложность их прямой оценки на глобальном уровне при оценке динамики запасов почвенного органического углерода используются данные об изменении землепользования, справочные значения запасов углерода и коэффициенты изменения запасов углерода, согласованные с подходами МГЭИК [22]. Такой подход позволяет оценивать не прямые выбросы и поглощения как таковые, а изменение запасов почвенного органического углерода, связанное с изменениями наземного покрова, землепользования и управления земельными ресурсами.

Кейс 3. Динамика запасов почвенного органического углерода в Приаралье (по материалам проекта ПРООН-Узбекистан, 2025 [121]).

Контекст: Расчет изменения запасов почвенного органического углерода – важная часть отчетности, интегрированная в систему анализа Trends.Earth.

Применение метода: На основе данных, получаемых в автоматическом режиме с помощью Trends.Earth, составляется карта и проводится картографический анализ.

Результат: Данные, в значительной степени обусловленные имеющейся глобальной информацией о среднем содержании почвенного углерода в определенных экосистемах, не всегда подтверждаются результатами наземных измерений.



Рисунок 8. Динамика запасов почвенного органического углерода в отдельных районах Приаралья в 2001–2020 гг. (зеленый цвет – улучшение, красный цвет – ухудшение)

Таблица 1 — Сравнительная характеристика субиндикаторов ЦУР 15.3.1 (согласно Trends.Earth по умолчанию)

Субиндикатор	Что измеряет?	Основные метрики	Пространственное разрешение (по умолчанию)
Динамика наземного покрова	Изменение класса наземного покрова	Матрица переходов между 7 классами	300 м (ESA CCI)
Динамика продуктивности земель	Изменение биологической продуктивности	Траектория, Состояние, Производительность (на основе NDVI)	250 м - 1 км (MODIS, AVHRR)
Динамика почвенного органического углерода	Изменение запасов углерода в почве (0-30 см)	Расчет на основе коэффициентов МГЭИК и данных о землепользовании	250 м (глобальные почвенные карты, в зависимости от используемого набора данных)

2.2. Интеграция: принцип полного охвата, или «один против всех»

Три субиндикатора объединяются в единый показатель ЦУР 15.3.1 с помощью консервативного принципа «One Out, All Out» (1OAO, («достаточно одного отрицательного показателя», правило «полного охвата»), детализированного в Good Practice Guidance:

- **Деградация:** Участок считается деградировавшим, если **хотя бы один** из трех субиндикаторов показывает значимое отрицательное изменение (деградацию).
- **Улучшение:** Участок считается улучшенным, если **хотя бы один** индикатор показывает улучшение, и **ни один** не показывает деградацию.
- **Стабильность:** Если ни один из индикаторов не показывает значимых изменений.

Принцип 1OAO является основой официальной отчетности, а дополнительные индикаторы могут использоваться странами для интерпретации, верификации и уточнения результатов при условии прозрачного описания методики и источников данных. Такой подход гарантирует высокую чувствительность метода, позволяя не пропустить проблему, даже если она проявилась только в одном аспекте.



Рисунок 9. Принцип «полного охвата», IOAO

Глава 3. Процесс постановки целей: четыре «строительных блока»

Документ «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» [53] закрепил глобальные цели, определяющие международную повестку устойчивого развития. Внедрение принципов НБДЗ в национальные планы и инструменты предлагается рассматривать как процесс, состоящий из четырех последовательных этапов или «строительных блоков» [65].

1. **Блок 1: Использование потенциала НБДЗ (Leveraging LDN).** На этом этапе происходит запуск процесса: определение национальных координационных механизмов, вовлечение всех заинтересованных сторон (межведомственное взаимодействие), анализ существующих политик и стратегий для интеграции в них целей НБДЗ.
2. **Блок 2: Оценка НБДЗ (Assessing LDN).** Это техническое ядро процесса. Он включает в себя определение базовой линии (см. главу 4), расчет трех субиндикаторов, идентификацию «горячих точек» (hotspots) деградации и «участков улучшения» (bright spots).
3. **Блок 3: Установление целей НБДЗ и соответствующих мер (Setting LDN targets and associated measures).** На основе данных оценки формулируются конкретные, измеримые, достижимые, релевантные и ограниченные по времени (SMART) цели. Они могут быть национальными или субнациональными и обязательно сопровождаются пакетом мер политики и практических действий на земле.
4. **Блок 4: Достижение НБДЗ (Achieving LDN).** Этап реализации, мониторинга и адаптивного управления. Включает в себя выполнение намеченных мер, отслеживание прогресса через повторные циклы оценки и корректировку стратегий при необходимости.

Глава 4. Базовая линия и инструментарий: точка отсчета и способ измерения

4.1. Базовая линия: выбор периода для сравнения.

Чтобы говорить о нейтральном балансе, нужна точка отсчета. КБО определило на глобальном уровне рамочные периоды времени для отчетности, которые закреплены в Руководствах по установлению целей и отчетности [47, 64, 66].

- **Базовый период (Baseline Period):** 2000–2015 годы. Базовая линия определяется на основе анализа данных за установленный базовый период и отражает исходное состояние земель, относительно которого в дальнейшем оцениваются изменения, связанные с деградацией, стабильностью или улучшением.
- **Отчетные периоды (Reporting Periods):** Последующие интервалы, с которыми сравнивается базовый уровень. Например, 2016–2019 гг. (для раунда добровольной отчетности 2022 года) или 2016–2023 гг. (для раунда добровольной отчетности 2026 года).

Руководство по отчетности PRAIS 4 [72] определяет порядок и процедуры подготовки добровольных национальных докладов. 15-летний базовый период был предложен для уровня глобальной оценки исходя из того, что для многих динамических природных процессов он позволяет сгладить влияние краткосрочных климатических флуктуаций (засух или влажных лет) и выявить устойчивые антропогенные тренды [47]. Методические подходы к установлению базовой линии для мониторинга индикаторов НБДЗ в России приведены в [90].

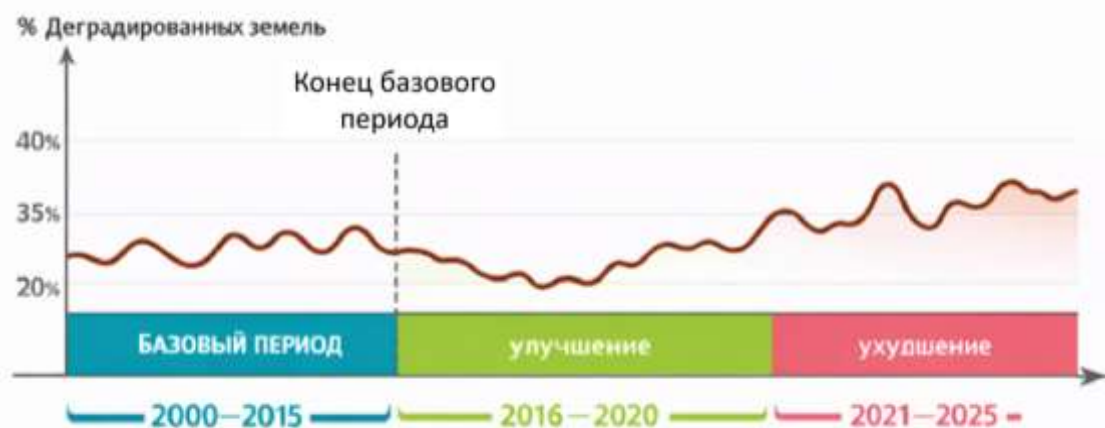


Рисунок 10. Принцип сравнения с базовым периодом.

Для целей официальной отчетности базовый период 2000–2015 гг. сохраняет значение исходной точки отсчета. Вместе с тем в условиях Центральной Азии, где высока межгодовая климатическая изменчивость, анализ более длинных временных рядов может использоваться как дополнительный диагностический инструмент. Такой анализ не заменяет фиксированную базовую линию, а помогает интерпретировать отклонения от нее, отличать устойчивые деградационные тренды от временных климатических флуктуаций и уточнять причины выявленных изменений.

4.2. Инструментарий реализации: Trends.Earth

Для того чтобы каждая страна могла провести такую оценку самостоятельно, был разработан специализированный инструмент — **Trends.Earth**. Это бесплатный плагин с открытым кодом для геоинформационной системы QGIS, созданный Conservation International при поддержке ГЭФ и широко используемый в рамках поддержки стран и совместимый с подходами КБО.

Trends.Earth автоматизирует расчет всех трех субиндикаторов, их интеграцию по правилу 10АО и формирование итоговых карт и статистических таблиц. Его ключевые преимущества:



- **Доступность:** не требует дорогостоящего программного обеспечения.
- **Интеграция данных:** содержит встроенные глобальные наборы данных (MODIS, ESA CCI, SoilGrids), что позволяет проводить оценку на едином типе данных даже в случае отсутствия национальных систем мониторинга - "с использованием встроенных наборов данных по умолчанию".
- **Воспроизводимость и прозрачность:** алгоритмы открыты, что обеспечивает сопоставимость результатов между странами.
- **Гибкость:** позволяет загружать собственные, более точные национальные данные для верификации или замены глобальных.



Рисунок 11. Пример картографического отображения расчетов индикатора ЦУР 15.3.1 для региона стран Центральной Азии с помощью Trends.Earth [34].

Глава 5. Рабочая схема методологии оценки НБДЗ: синтез руководств

Обобщая вышеизложенное, можно представить полную методологию оценки НБДЗ как многоступенчатый алгоритм, который объединяет положения всех ключевых документов КБО.

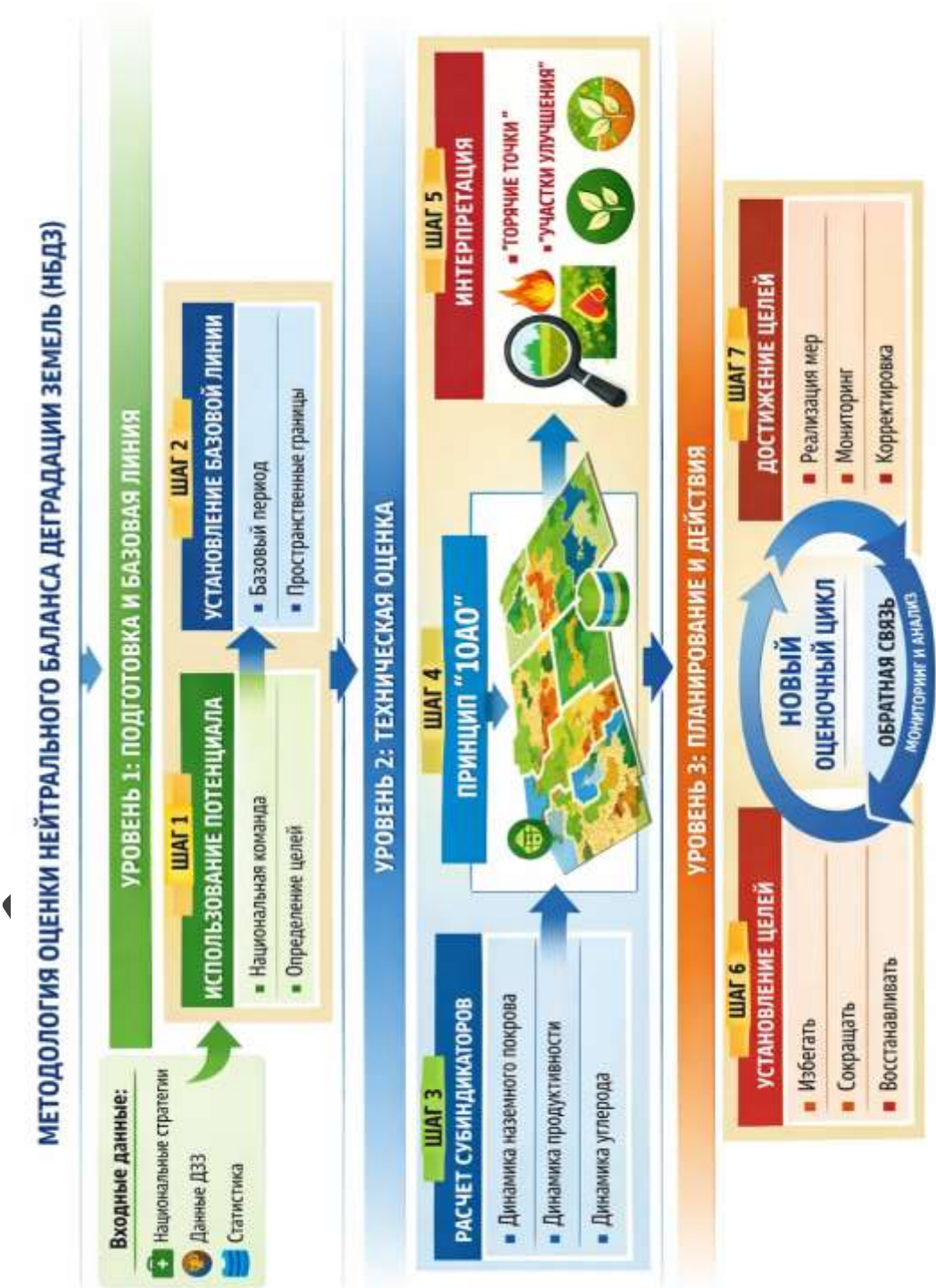


Рисунок 12. Общая схема методологии оценки НБДЗ

Заключение к части I

Таким образом, представлена последовательная система глобального мониторинга земель. Ее фундамент — научная концептуальная основа – концепция НБДЗ, предложенная КБО (LDN Scientific Conceptual Framework, [47]). Ее каркас — процесс из четырех блоков (Building Blocks), включающий вовлечение, оценку, целеполагание и действие. Ее точный измерительный инструмент — три субиндикатора, интегрируемые по правилу полного охвата, с детальными инструкциями по расчету (Good Practice Guidance). И, наконец, ее доступный для каждого специалиста рабочий инструмент — модуль Trends.Earth.

Однако, как показывает практика внедрения этой методологии в странах Центральной Азии, глобальные подходы нуждаются в серьезной региональной адаптации и интерпретации результатов. Высокая межгодовая изменчивость климата, специфика орошаемого земледелия в засушливой зоне, исторический "фон" советского периода в характере и структуре землепользования и проблема выбора репрезентативного базового периода — все это создает уникальные вызовы, которые глобальная модель учитывает не всегда корректно. Именно об этих вызовах, или, как их называют авторы, «белых пятнах» методологии, и о способах их преодоления на основе накопленного регионального опыта пойдет речь во второй части данного Практикума.

ЧАСТЬ II. АДАПТАЦИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ МЕТОДОЛОГИИ НБДЗ К УСЛОВИЯМ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ: КЛЮЧЕВЫЕ ВЫЗОВЫ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Введение

Как было показано в предыдущей части, разработка и внедрение концепции НБДЗ стала важной вехой в международных усилиях по борьбе с опустыниванием. Глобальная методология, предложенная КБО, предлагает унифицированный подход к оценке состояния земель на основе индикатора ЦУР 15.3.1 [61]. Однако любая универсальная модель, сколь бы совершенна она ни была, сталкивается с вызовами при применении в регионах с ярко выраженной спецификой. Центральная Азия представляет собой именно такой случай.

Прямое применение глобальных алгоритмов без адаптации к условиям Центральной Азии может приводить к ряду системных несоответствий и неоднозначности интерпретации. Природно-климатические особенности региона — глубинная аридность и нарастающая аридизация, высокая континентальность климата и значительная межгодовая изменчивость — сочетаются со специфическим историческим контекстом землепользования и текущими институциональными особенностями управления земельными ресурсами. В совокупности эти факторы влияют на корректность интерпретации результатов, получаемых на основе глобальных наборов данных и стандартных алгоритмов обработки, разработанных с опорой на усредненные глобальные параметры.

Цель данной части Практикума — системно проанализировать ключевые методологические неопределенности и ограничения, возникающие при применении глобальной методологии НБДЗ в условиях Центральной Азии. Вначале рассматривается специфика региона как целостного макрорегиона, поскольку учет природных, социально-экономических и институциональных факторов является необходимым условием корректной оценки. Далее последовательно анализируются проблемные аспекты методологии — от интерпретации динамики наземного покрова до выбора репрезентативной базовой линии — с формулированием практических рекомендаций по их адаптации на основе регионального научного и прикладного опыта.

Глава 6. Центральная Азия как целостный макрорегион: географическая специфика и социально-экономический портрет

Прежде чем говорить об адаптации методологии, необходимо ответить на вопрос: что делает Центральную Азию уникальным объектом для применения концепции НБДЗ? Ответ кроется в сложном переплетении природных, социально-экономических и исторических факторов, которые формируют особый «ландшафт» структуры землепользования и деградационных процессов.

6.1. Расширение географических границ: регион без искусственных рубежей

При рассмотрении Центральной Азии в контексте устойчивого развития и процессов деградации земель целесообразно учитывать не только административные границы, но и экологическую связанность территорий. В рамках официальной отчетности КБО анализ осуществляется на национальном уровне — в границах государств: Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана и Узбекистана. Вместе с тем, для корректной диагностики региональных драйверов деградации земель и оценки трансграничных воздействий необходимо учитывать более широкий природно-географический контекст. Вопросы мониторинга деградации земель и анализа ее драйверов в контексте достижения ЦУР 15.3 для стран Центральной Азии рассмотрены в работе [23].

Экосистемные процессы — включая формирование речного стока, миграцию пылевых и солевых аэрозолей, динамику пастбищных экосистем и климатические градиенты — развиваются независимо от государственных границ. В частности, бассейны Амударьи и Сырдарьи охватывают не только территории пяти стран Центральной Азии, но и прилегающие районы Афганистана и Ирана. Горные системы Тянь-Шаня и Памира, аридные равнины Казахстана, Узбекистана и Туркменистана, а также трансграничные водно-земельные комплексы формируют взаимосвязанную природную систему. Учет этой экологической связанности необходим для анализа причинно-следственных механизмов деградации земель, при сохранении национального уровня оценки и официальной отчетности по показателю НБДЗ.

Именно такой расширенный, экосистемный подход позволяет рассматривать процессы деградации земель не как совокупность изолированных национальных проблем, а как взаимосвязанную региональную систему изменений землепользования. В этом контексте деградация земель в Центральной Азии имеет выраженное трансграничное измерение и требует согласованных и сопоставимых подходов к её оценке. Речь идёт, в частности, о гармонизации зональных пороговых значений индикаторов продуктивности,

использовании совместимых метаданных и классификаций наземного покрова, разработке согласованных матриц переходов классов наземного покрова, а также обеспечении сопоставимости базовых линий и источников данных. Такая координация методологических параметров способствует повышению сопоставимости результатов оценки НБДЗ и формированию более целостного понимания региональных процессов.

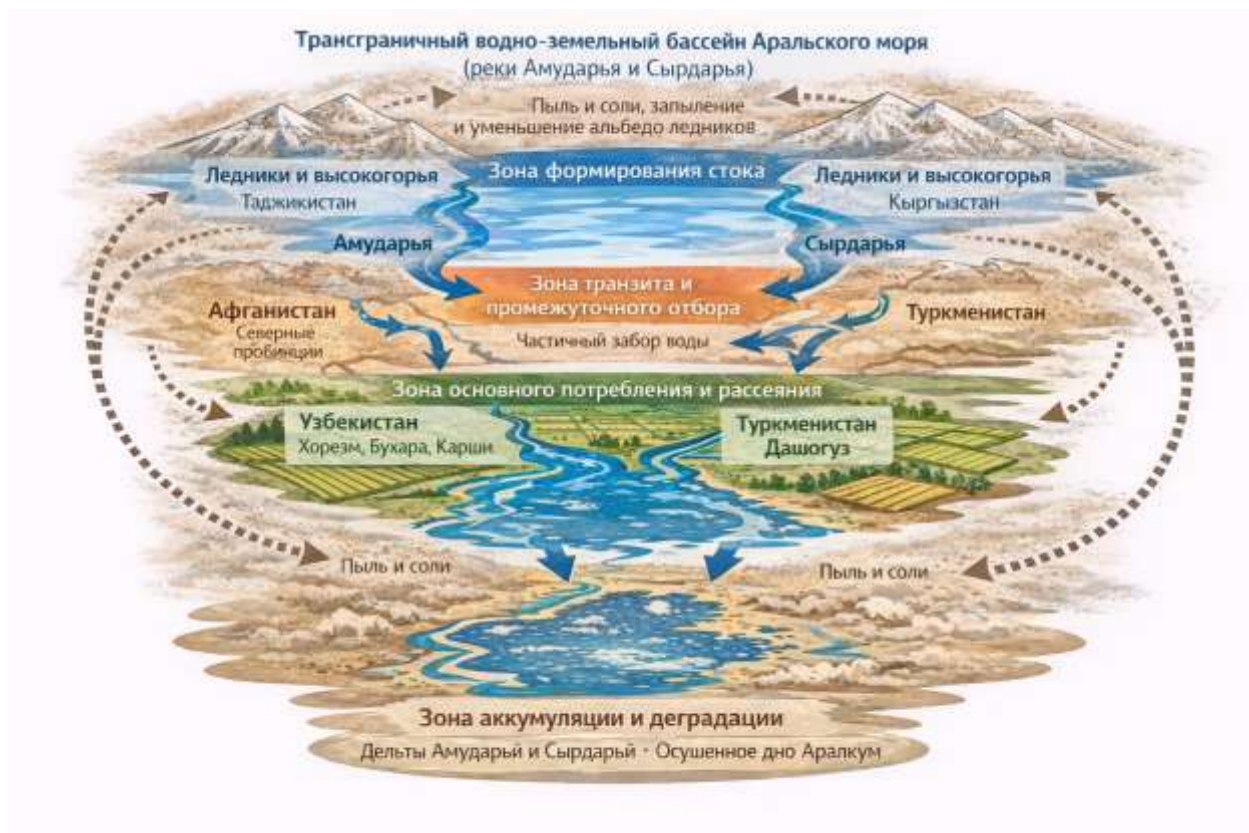


Рисунок 13. Принципиальная схема трансграничного водно-земельного бассейна Аральского моря

6.2. Природно-климатическая специфика: хрупкость аридных экосистем

Природные комплексы Центральной Азии отличаются высокой природной уязвимостью, что продиктовано их местоположением на карте мира. Находясь в сердце Евразии и будучи отрезанными высокими горными хребтами от воздушных масс Атлантики и Тихого океана, эта территория живет в условиях сурового континентального и засушливого климата. Прямое следствие этой замкнутости — острый дефицит влаги, определяющий всю специфику региона.

Количество выпадающих за год осадков планомерно снижается при движении к южным широтам: если в северных степях Казахстана фиксируется около 300–400 мм, то в пустынях Кызылкума и Каракумов этот показатель падает ниже 100 мм. Но ключевую роль играет не столько само количество осадков, сколько его соотношение с испарением. В условиях Центральной Азии испаряемость настолько высока, что намного перекрывает объемы осадков. Вследствие этого почвенная влага становится тем «скрытым ресурсом», от которого зависят и естественные экосистемы, и сельскохозяйственные культуры.

Положение осложняется долговременными трендами изменениями климата. Начиная с 60-х годов прошлого века метеорологи фиксируют неуклонное повышение средней температуры. Это явление, называемое аридизацией, создает дополнительное давление на истощенные водные запасы [69]. Однако трудности землепользования в регионе обусловлены не только природными факторами. В последние годы стало очевидным, что это кризис, вызванный одновременным сочетанием человеческого фактора и естественных причин, где просчеты в ведении хозяйства (нерациональные схемы орошения, чрезмерный выпас скота, пренебрежение сменой культур на полях) значат не меньше, чем глобальные изменения климата [50].



Рисунок 14. Доля деградированных земель в странах Центральной Азии по данным национальных отчетов PRAIS 4 [55-59].

6.3. Социально-экономические особенности

Социально-экономический ландшафт региона столь же специфичен, как и природный, и имеет прямую и обратную связь с состоянием земельных ресурсов.

Демографический пресс. Особенности социально-экономического развития региона тесно переплетены с его природными условиями, и эта связь с состоянием земель является обоюдной. По состоянию на 2024 год количество жителей пяти республик перешагнуло рубеж в 80 миллионов человек. Это огромный человеческий ресурс и мощный драйвер для будущего роста. Но в условиях истощения природных богатств та же самая ситуация порождает серьезные социальные угрозы. Отсутствие у молодого поколения возможностей для самореализации в аграрном секторе создает мощный миграционный отток: деградация земель влечет за собой падение заработков и отсутствие будущего, что толкает людей сначала в мегаполисы, а затем и за рубеж. В районах экологического кризиса, например, в зоне Аральского моря, этот процесс уже назвали «социальным опустыниванием».

Цена деградации земель. Проблема выявления “горячих точек” деградации земель, а также затраты и выгоды при восстановлении деградированных земель в Центральной Азии рассмотрены в [45, 46]. Для миллионов семей сельское хозяйство остается главным источником дохода и основой выживания. Однако, по подсчетам экспертов Инициативы «Экономика деградации земель» [10], ущерб от ухудшения качества почв в Центральной Азии достигает 5,85–6 миллиардов долларов ежегодно. Эта огромная сумма складывается из недополученного урожая, падения отдачи от пастбищ и вынужденного пересмотра способов использования земель.

Таблица 2. Ключевые социально-экономические индикаторы стран Центральной Азии (ориентировочные данные на 2024-2025 гг., составлено авторами на основе оценок Всемирного банка, АБР и данных национальных комитетов статистики)

Показатель	Казахстан	Кыргызстан	Таджикистан	Туркменистан	Узбекистан
Население, млн чел.	~20,0	~7,0	~10,5	~6,5	~36,0
Доля сельского населения, %	~42	~63	~73	~48	~50
Доля сельского хозяйства в ВВП, %	~4-5	~10-12	~20-22	~10-12	~25-27

Глава 7. Специфика Центрально-Азиатского региона как объекта применения методологии НБДЗ

Учёт специфики Центральной Азии, рассмотренной в главе 6, является необходимым условием для корректной калибровки инструментов НБДЗ, интерпретации результатов и разработки реалистичных стратегий достижения баланса. Игнорирование этих особенностей при прямом применении глобальных методологий неизбежно ведёт к появлению неопределённостей, которые будут подробно проанализированы ниже. В данной главе систематически описываются ключевые характеристики региона, имеющие прямое отношение к оценке деградации земель. Для каждой характеристики мы обозначим ее связь с методологией НБДЗ.

7.1. Природно-климатические особенности: "норма" аридности против глобальных шаблонов

7.1.1. Аридность как основная характеристика

Главная особенность региона — его аридность. Большая часть территории (пустыни Кызылкум, Каракумы, плато Устюрт, степные зоны Казахстана) характеризуется низким и крайне нестабильным увлажнением. Коэффициент увлажнения (отношение осадков к испаряемости) на большей части региона ниже 0.33, что соответствует категории аридных и семиаридных земель.

- **Значение для НБДЗ:** Низкая продуктивность зеленой биомассы в пустыне — это не признак деградации, а экологическая норма. Глобальные алгоритмы, ориентированные на индексы вегетации умеренного пояса, часто интерпретируют эту "норму" как состояние стресса или начальной стадии деградации. Это требует обязательной тонкой настройки пороговых значений индекса NDVI и других вегетационных индексов для различных природных зон.
- **Методологический вывод:** При установлении базовой линии и интерпретации субиндикатора "Продуктивность земель" необходимо использовать зональные нормативы. То, что является "деградацией" для полупустыни (снижение продуктивности на 20%), может быть "стабильностью" для пустыни, где естественные колебания продуктивности достигают 50% и более.



Рисунок 15. Климат Центральной Азии (данные из открытого источника Köppen climate explorer (<https://koppen.earth/>)).

Засушливый, пустынный, жаркий (BWh)	Холодный, сухое лето, холодное лето (Dsc)
Засушливый, пустынный, холодный (BWk)	Холодный, сухая зима, теплое лето (Dwb)
Засушливый, степной, жаркий (BSh)	Холодный, сухая зима, холодное лето (Dwe)
Засушливый, степной, холодный (BSk)	Холодный, без сухого сезона, жаркое лето (Dfa)
Умеренный, сухое лето, жаркое лето (Csa)	Холодный, без сухого сезона, теплое лето (Dfb)
Умеренный, сухое лето, теплое лето (Csb)	Холодный, без сухого сезона, холодное лето (Dfc)
Холодный, сухое лето, жаркое лето (Dsa)	Полярный, тундра (ET)
Холодный, сухое лето, теплое лето (Dsb)	Полярный, мороз (EF)

Таблица 3. Усредненные показатели продуктивности природных зон Центральной Азии (составлена авторами по типичным диапазонам NDVI, публикуемым в научных работах по аридным регионам Евразии; Источник данных: MODIS MOD13 (2000–2020) (<https://modis.gsfc.nasa.gov/>))

№	Природная зона	Основные страны	NDVI среднегодовой	NDVI в пик вегетации	Класс продуктивности	Характеристика растительности
1	Песчаные пустыни (Каракумы, Кызылкум)	Туркменистан, Узбекистан, Казахстан	0.05 – 0.12	0.10 – 0.18	Очень низкая	Разреженные кустарники, эфемеры
2	Каменистые и глинистые пустыни	Казахстан, Узбекистан	0.07 – 0.15	0.12 – 0.22	Очень низкая	Полынь, солянки
3	Полупустыни	Казахстан, Узбекистан	0.12 – 0.22	0.20 – 0.32	Низкая	Полынно-злаковые сообщества
4	Сухие степи	Север Казахстана	0.22 – 0.35	0.35 – 0.50	Средняя	Типчак, ковыль
5	Типичные степи	Север Казахстана	0.30 – 0.45	0.45 – 0.60	Средняя-повышенная	Злаковые степи
6	Лесостепь	Север Казахстана	0.40 – 0.55	0.55 – 0.70	Высокая	Берёзовые колки, луга
7	Тугайные леса пойм рек	Амударья, Сырдарья	0.35 – 0.60	0.55 – 0.75	Высокая	Туранга, ива, тростник, лох, гребенщик
8	Орошаемые земли (агроландшафты)	Ферганская долина, юг Казахстана	0.45 – 0.65	0.65 – 0.85	Очень высокая	Хлопок, пшеница, рис
9	Предгорья (лугово-степные)	Тянь-Шань, Памиро-Алай	0.35 – 0.50	0.50 – 0.70	Высокая	Злаково-разнотравные луга
10	Горные хвойные леса	Тянь-Шань, Алтай	0.45 – 0.65	0.60 – 0.80	Очень высокая	Ель, пихта, можжевельник, арча
11	Субальпийские луга	Высокогорья	0.40 – 0.60	0.60 – 0.80	Очень высокая	Альпийские травы
12	Альпийские пустоши и тундра	>3500 м	0.15 – 0.30	0.25 – 0.45	Низкая-средняя	Короткий сезон вегетации

7.1.2. Высокая межгодовая и внутрисезонная изменчивость климата

Количество осадков и, как следствие, динамика продуктивности пастбищ могут колебаться в разы от года к году. При интерпретации спутниковых данных засушливый год может быть ошибочно принят за деградацию, а влажный — за восстановление, хотя устойчивого тренда может не существовать. Разница между влажными и очень засушливыми годами может достигать двукратного увеличения или падения NDVI. Эти естественные климатические

колебания "перекрывают" любые слабые сигналы о деградации или восстановлении пастбищ.

- **Значение для НБДЗ:** Традиционный анализ, сравнивающий состояние земель по двум периодам (например, «базовый» 2001-2015 и сравнения (2016-2020)), не позволяет отделить долгосрочные, устойчивые процессы деградации от временных флуктуаций, вызванных климатическими аномалиями (засухами) или эпизодическими антропогенными воздействиями.
- **Методологический вывод:** Для аридных регионов обязательным является использование методов, сглаживающих климатический шум. Только так можно отделить долгосрочную антропогенную деградацию от естественных климатических флуктуаций.



Рисунок 16. Межгодовая изменчивость NDVI для пустынных пастбищ Лебапа, Туркменистан (2005-2024) (по материалам проекта ПРООН-Туркменистан [120])

7.1.3. Ледники как стратегический резерв и индикатор климатических изменений

Ледники Памира и Тянь-Шаня — "водонапорные башни" региона. Их таяние напрямую влияет на водообеспеченность и, следовательно, на состояние орошаемых земель в низовьях.

- **Значение для НБДЗ:** Деградация земель в низовьях (изменение режима стока, засоление, падение продуктивности земель) может быть прямым следствием изменения гидрологического режима, вызванного таянием ледников в верховьях. Это пример трансграничного воздействия, которое глобальные индикаторы НБДЗ, рассматривающие каждый пиксель изолированно, не улавливают.
- **Методологический вывод:** Оценка НБДЗ на национальном уровне должна дополняться анализом состояния ледников и водных ресурсов. В связи с этим целесообразно развивать региональное сотрудничество для учета трансграничных эффектов.

7.2. Доминирующие типы землепользования и их уязвимость к процессам деградации

В регионе можно выделить три ключевых типа землепользования, каждый из которых характеризуется специфическими механизмами и проявлениями деградации, не всегда в полной мере отражаемыми стандартными глобальными индикаторами.

7.2.1. Орошаемое земледелие: парадокс "зеленой" деградации

Орошаемое земледелие является основой продовольственной безопасности региона, но в то же время представляет собой и главный очаг деградации земель. Ключевым деградационным процессом в данном случае является вторичное засоление, связанное с подъёмом минерализованных грунтовых вод [25].

- **Специфика:** Спутниковые индексы продуктивности земель могут долгое время не отражать корректно процессы падения урожайности на слабо- и средnezасоленных почвах, особенно если применяются повышенные дозы удобрений. При этом по спутниковым данным поле может сохранять признаки высокой вегетационной активности (оставаться "зеленым"), в то время как в почве накапливаются соли, приводящие к постепенной деградации её свойств. Наиболее яркие примеры такого рода отмечаются для полей с высокой биомассой хлопчатника (NDVI может достигать 0.5-0.6), но с солевой коркой на поверхности почв к концу вегетационного периода. Это явление можно назвать "зеленой деградацией".
- **Значение для НБДЗ:** Глобальные индикаторы (NDVI, класс земель) могут давать ложноположительный сигнал стабильности или даже улучшения на засоленных почвах.
- **Методологический вывод:** Необходимо внедрение специализированных индикаторов засоления почвы (спектральные индексы, полевые измерения электропроводности) в дополнение к трем базовым индикаторам. Оценка должна быть многослойной: наложение карт засоления на карты продуктивности.

7.2.2. Пастбищное животноводство: количественная и качественная деградация

Пастбища занимают до 70-80% территории региона. Деградация здесь выражается не только в падении продуктивности (снижении NDVI), но и в смене видового состава травостоя.

- **Специфика:** Ценные кормовые злаки (типчак, житняк) вытесняются не поедаемыми или малопродуктивными видами (доминируют полынь, эфемеры, а затем и ядовитые растения). Глобальный индекс NDVI фиксирует "позеленение", не различая ее качества. Пастбище может быть "зеленым" (высокий NDVI), но "мертвым" для животноводства (низкая кормовая ценность).
- **Двойственность процессов:** Концепция НБДЗ нацелена на борьбу с перегрузкой пастбищ. Однако в Центральной Азии остро стоит и проблема заброшенности отдаленных пастбищ. Земли, переставшие использоваться, с точки зрения глобального алгоритма по показателям продуктивности могут интерпретироваться как "улучшение" (отмечается рост биомассы), однако хозяйственное значение таких пастбищ остается низким по разным причинам, описываемым ниже.

- **Методологический вывод:** Необходимо сочетание дистанционных методов с наземной верификацией, включающей оценку видового состава, доли злаков/бобовых, проективное покрытие, доля поедаемых видов, наличие водопоев, стадийность деградации, и инфраструктуры (водопой/дороги/кошары). Ключевую роль играют данные местных сообществ и пастбищных комитетов. Правовую основу деятельности пастбищных комитетов обеспечивают законодательные акты, такие как например, Закон Кыргызской Республики «О пастбищах» [81].



Рисунок 17. Опыт Кыргызстана: пастбищные комитеты используют мобильные приложения для сбора данных о видовом составе [49].

7.2.3. Богарное земледелие и залежи

В предгорных зонах широко распространено богарное земледелие, продуктивность которого в значительной степени определяется межгодовой изменчивостью осадков. Для этих территорий характерен повышенный риск водной эрозии на склонах и ветровой эрозии на прилегающих равнинных участках. Пашни, выведенные из сельскохозяйственного оборота (залежные земли), нередко демонстрируют рост значений NDVI вследствие естественного восстановления травянистой и кустарниковой растительности.

- **Значение для НБДЗ:** Возникает конфликт интерпретаций. С точки зрения глобального алгоритма по показателям продуктивности— это "улучшение" (рост продуктивности). С точки зрения сельскохозяйственного производства и продовольственной безопасности — это потеря пахотных земель. В системе земельного учёта такие участки могут классифицироваться как «неиспользуемые» или «залежные», что, как правило, не предусматривает специальных мер по их управлению или поддержке. Вместе с тем с экологической точки зрения они представляют собой территории с потенциалом естественного восстановления и могут рассматриваться как объекты для целенаправленных мер по устойчивому управлению и реабилитации.
- **Методологический вывод:** Необходимо различать процессы экологического восстановления и возврат земель в хозяйственный оборот. Для повышения точности

оценки НБДЗ рекомендуется учитывать данные земельного кадастра и историю использования территории.

7.2.4. Леса и лесополосы

Для региона характерна низкая лесистость, однако леса (включая саксаульники и тугаи) выполняют важнейшие средозащитные функции. В настоящее время полезащитные лесополосы, созданные еще в советский период, находятся в упадке.

- **Значение для НБДЗ:** Деградация лесополос не всегда фиксируется глобальными индикаторами (класс земель может оставаться тем же или лесополосы не выделяются как отдельный класс, продуктивность может быть низкой изначально). Однако их утрата ведет к усилению ветровой эрозии на сельскохозяйственных угодьях, что рассматривается как деградация земель.
- **Методологический вывод:** Необходим учет линейных объектов (лесополос) и их состояния, что требует данных высокого разрешения и наземных обследований.

7.3. Трансграничный характер проблем

Атмосферные и водные массо-переносы не признают границ. Пыльные и солевые бури с осушенного дна Арала (Аралкум) влияют на состояние земель и ледников на огромных пространствах от Кавказа до Сибири. Водные ресурсы, формирующиеся в ледниках Таджикистана и Кыргызстана, определяют продуктивность орошаемых массивов Узбекистана, Туркменистана и Казахстана.

- **Значение для НБДЗ:** Процессы деградации земель в ряде случаев могут быть обусловлены факторами, формирующимися за пределами границ отдельных государств. Так, снижение продуктивности пастбищ может быть связано с переносом пылевых аэрозолей из соседних территорий в пределах единого природного бассейна. Это подчеркивает трансграничный характер ряда деградационных процессов и необходимость координации усилий по их мониторингу и предотвращению. В этом контексте достижение НБДЗ требует согласованных подходов к оценке, сопоставимых методик мониторинга и развития механизмов регионального сотрудничества в рамках КБО при сохранении национального уровня официальной отчетности.
- **Методологический вывод:** Формирование региональных механизмов мониторинга и обмена данными, а также создание платформ для обмена знаниями (например, в формате инициатив типа «Digital Earth Central Asia») могут существенно повысить сопоставимость информации и качество интерпретации результатов. Такие инструменты способствуют более точной оценке вклада национальных усилий в общий региональный контекст процессов деградации и восстановления земель.

7.4. Социально-экономический и исторический контекст

7.4.1. Наследие советского периода

Современное состояние земель в странах Центральной Азии во многом сформировалось под влиянием исторических моделей хозяйственного освоения, включая расширение монокультурного производства, масштабные программы освоения новых земель и развитие

крупных ирригационных систем. В ряде случаев такие подходы сопровождались недостаточным учетом ландшафтных условий и сложившихся традиционных практик устойчивого землепользования, что оказало долгосрочное влияние на состояние экосистем и водных ресурсов [79, 80, 82, 84-88].

- **Значение для НБДЗ:** Часть наблюдаемых в настоящее время деградационных процессов (включая вторичное засоление и различные формы эрозии почв) имеет накопительный характер и сформировалась в результате длительного воздействия хозяйственной деятельности. Такие процессы отражают исторически сложившееся состояние земельных ресурсов, которое не всегда полностью выявляется при анализе изменений в пределах стандартного 15-летнего базового периода, используемого в глобальной методологии. В ряде случаев территория может находиться в устойчиво деградированном состоянии, при этом краткосрочная динамика индикаторов может классифицироваться как стабильная.
- **Методологический вывод:** Установление целей НБДЗ должно учитывать как предотвращение новых случаев деградации, так и восстановление ранее нарушенных земель, что требует анализа исторических данных и расширенного ретроспективного мониторинга

7.4.2. Институциональный разрыв 1990-х и земельная реформа

Трансформация аграрных структур, включая переход от коллективных форм хозяйствования к различным моделям землевладения и землепользования, а также внедрение арендных механизмов с различной продолжительностью договоров, сформировала новые институциональные условия управления земельными ресурсами. В ряде случаев краткосрочный характер аренды может снижать заинтересованность землепользователей в осуществлении долгосрочных инвестиций в поддержание и восстановление плодородия почв.

- **Значение для НБДЗ:** Характер землепользования и институциональные условия напрямую влияют на тренды деградации. Оценка НБДЗ только по биофизическим параметрам может не отражать социально-экономические причины, формирующие устойчивость или уязвимость земельных систем.
- **Методологический вывод:** При анализе результатов НБДЗ важно учитывать институциональный контекст, поскольку негативные тренды деградации могут коррелировать с особенностями действующих моделей землепользования.

7.4.3. Демографический фактор и "социальное опустынивание"

Центральная Азия — регион с быстрорастущим и молодым населением, что создаёт колоссальную нагрузку на земельные ресурсы. Как показывает исследование КБО (2023) [67], связь между деградацией земель и миграцией (внутренней и внешней) носит не прямой, а сложный опосредованный характер, однако деградация выступает очень сильным косвенным триггером. Она не является единственной или главной причиной оттока — ключевую роль играют безработица, низкие доходы и отсутствие перспектив в сельской местности. Но именно деградация земель, усугублённая изменением климата, подрывает основу традиционного хозяйства, снижает продуктивность пастбищ и пахотных угодий, обостряет дефицит воды и тем самым запускает «социальное опустынивание»: молодёжь уезжает из деградирующих сельских районов, что ведёт к устойчивому сокращению

населения и рабочей силы, деградации инфраструктуры и дальнейшему ослаблению способности сообществ противостоять экологическим и экономическим кризисам.

Значение для НБДЗ: Деградация земель — это не только экологический, но и мощный социально-экономический процесс. Оценка НБДЗ может служить инструментом для выявления зон риска, где экологический стресс ведет к оттоку населения. В свою очередь, заброшенность земель (как следствие миграции) может создавать ложные сигналы "улучшения" из-за зарастания сорной растительностью и/или образования малопродуктивных залежей.

- **Методологический вывод:** Рекомендуется дополнять оценку НБДЗ анализом демографических данных (плотность населения, миграционные потоки на базе национальных и международных статистических данных) для более глубокого понимания причин и следствий деградации.

7.5. Разнообразие природных и социально-экономических условий как вызов для установления единой базовой линии

Опыт адаптации методологии НБДЗ на национальном уровне в странах с обширной и природно разнообразной территорией (см., например [31]) показывает, что применение единой базовой линии и унифицированных пороговых значений индикаторов без предварительного природно-экологического районирования может снижать точность интерпретации результатов. В условиях значительной внутривострановой дифференциации требуется учет зональных особенностей при определении порогов и параметров оценки.

Характерный для стран Центральной Азии контраст природных зон — от пустынных и полупустынных территорий до горных экосистем и орошаемых агроландшафтов — также обуславливает необходимость дифференцированного подхода к формированию базовых линий и интерпретации индикаторов НБДЗ. Подходы к оценке динамики деградации земель в Центральной Азии с использованием ландшафтного подхода анализируются в [9].

- **Проблема:** Один и тот же тип перехода классов наземного покрова (например, "орошаемые земли в кустарники") в одном регионе (например, в зоне недостаточного дренажа) может быть признаком деградации (заболачивания, засоления), а в другом (в предгорьях) — признаком восстановления естественной растительности на малопродуктивных землях.
- **Значение для НБДЗ:** Центральная Азия отличается высокой природно-экологической неоднородностью, что требует учета зональных особенностей при применении методологии НБДЗ. Как подчеркивается в *Good Practice Guidance for SDG 15.3.1* [66] и *Addendum to the good practice guidance* [70], интерпретация индикаторов должна учитывать национальный и субнациональный контекст. В этих условиях применение единых пороговых значений NDVI и универсальных критериев оценки без предварительного районирования может снижать точность диагностики. Целесообразно использовать дифференцированные зональные параметры и адаптированные базовые линии при сохранении методологической согласованности с глобальными стандартами.
- **Методологический вывод:** В качестве одного из приоритетных направлений целесообразно рассматривать проведение природно-экологического и

функционального зонирования территории с учетом ландшафтных условий и типов землепользования. Такой подход позволяет повысить точность интерпретации индикаторов НБДЗ и обеспечить их адаптацию к национальному контексту.

Для выделенных зон рекомендуется:

- ✓ Определить нормативные показатели продуктивности (включая базовые значения NDVI).
- ✓ Разрабатывать адаптированные матрицы переходов наземного покрова.
- ✓ Устанавливать региональные пороговые значения для определения деградации.
- ✓ Учитывать дополнительные национально релевантные индикаторы (например, показатели засоления для орошаемых территорий или характеристики видового состава для пастбищных экосистем).



Рисунок 18. Важность зонирования территории для установления релевантных индикаторов НБДЗ и матриц переходов

7.6. Необходимость учета "генетической памяти" почв

Исследования [31, 89] показали, что многие современные процессы деградации предопределены историей почвообразования (голоценовыми циклами увлажнения-иссушения, засоления-рассоления). Почвы обладают "генетической памятью": территории, где в прошлом накапливались соли, и сегодня наиболее уязвимы для вторичного засоления.

- **Значение для НБДЗ:** Этот феномен означает, что даже при кажущемся улучшении (например, после проведения мероприятий по промывке почв) риск быстрого возврата засоления остается высоким из-за неучтенных природных факторов. Кроме того, существуют долгосрочные природные тренды (например, продолжающаяся аридизация климата), которые могут ограничивать устойчивость достигнутых результатов. Глобальные прогнозы природно обусловленного засоления почв при изменении климата приведены в [19]. В этих условиях управленческие меры способны смягчать негативные последствия и повышать адаптивность систем землепользования, однако их эффект должен рассматриваться с учетом существующих природных ограничений.
- **Методологический вывод:** При формировании целей НБДЗ важно учитывать природные ограничения территорий и долгосрочные климатические тенденции. Потенциал восстановления должен оцениваться с учётом устойчивых характеристик почвенно-ландшафтных систем и их адаптационных возможностей. В ряде случаев целесообразным ориентиром является не возвращение к условно исходному состоянию, а достижение устойчивого уровня продуктивности и экосистемных функций, соответствующего современным природным условиям. Такой подход согласуется с принципом НБДЗ, предполагающим поддержание или улучшение общего баланса земельных ресурсов при предотвращении дальнейших потерь.

7.7. Институциональная специфика мониторинга

- Мониторинг состояния земель в регионе осуществляется различными профильными ведомствами, координация которых в отношении установления целей НБДЗ и мониторинга может быть слабой.
- **Значение для НБДЗ:** Внедрение концепции НБДЗ может рассматриваться как возможность для укрепления межведомственной координации и гармонизации систем сбора и обработки данных. Вместе с тем, на начальном этапе данный процесс может сопровождаться организационными и методическими сложностями, связанными с согласованием подходов, распределением полномочий и интеграцией разнородных информационных систем.
- **Методологический вывод:** Разработку национальных планов по достижению НБДЗ целесообразно осуществлять параллельно с совершенствованием систем мониторинга, развитием интегрированных ГИС-платформ и укреплением кадрового потенциала профильных ведомств. Данные спутникового мониторинга опустынивания в Центральной Азии на основе многолетних рядов данных представлен в [17]. Аналогичный подход с использованием данных дистанционного зондирования применён в [18].

7.8. Резюме: Центральная Азия как тест-полигон для адаптации методологии НБДЗ

Подводя итог, следует отметить, что Центральная Азия представляет собой уникальную, сложную и многокомпонентную природно-социальную систему, сочетающую аридные климатические условия, разнообразие форм землепользования и специфические институциональные особенности. Эти характеристики создают благоприятные условия для

апробации и адаптации глобальной концепции НБДЗ к условиям засушливых регионов и трансформирующихся экономик. При этом выявленные особенности не препятствуют применению методологии НБДЗ, однако требуют её осознанной адаптации, включая калибровку параметров оценки, учет зональных различий и уточнение интерпретации индикаторов в региональном контексте. Ключевые методологические следствия из региональной специфики:

1. Необходимость районирования и зональных нормативов.
2. Приоритет анализа трендов над точечными сравнениями.
3. Обязательное использование дополнительных (национальных) индикаторов состояния земель (засоление, видовой состав пастбищ, состояние лесополос).
4. Критическая важность наземной верификации и участия местных сообществ.
5. Необходимость учета исторического контекста и трансграничных эффектов.
6. Потребность в институциональной реформе и межведомственной координации.

Эти выводы служат основой для детального анализа неопределенностей, который последует ниже. Только пройдя этап осознания региональной специфики и приняв её во внимание, можно приступить к разработке реалистичных и эффективных стратегий достижения НБДЗ.

Глава 8. Анализ «белых пятен» и неопределенностей методологии НБДЗ в условиях Центральной Азии

В данной главе последовательно рассматриваются ключевые методологические проблемы, которые могут возникать при попытке применения глобальных подходов без учёта региональной специфики Центральной Азии. Опираясь на опыт применения концепции НБДЗ на юге России, Казахстане и других странах Центральной Азии, выявлен ряд системных проблем, которые носят не случайный, а закономерный характер для этого макрорегиона. Эти проблемы касаются не только природно-климатической специфики, но и институциональной структуры, терминологической несогласованности, исторического наследия землепользования и объективных ограничений применения глобальных наборов данных на региональном уровне.

8.1. Проблема интерпретации динамики наземного покрова

Глобальный субиндикатор динамики наземного покрова основан на сопоставлении площадей классов землепользования или состояний наземного покрова в двух временных срезах. Как правило, сравнение производится между базовым и отчетным периодами (в зависимости от инструмента) с использованием стандартной матрицы переходов. Выявленные изменения классифицируются как улучшение, стабильность или деградация. Данный алгоритм реализован, в том числе, в инструментах операционализации методологии НБДЗ, таких как Trends.Earth. Подходы Кыргызстана к адаптации методологии НБДЗ с учетом национальной классификации земель рассмотрены в [5].

Неопределенность 1: Несоответствие глобальных классификаций региональным реалиям. Стандартные глобальные классификации наземного покрова (например, ESA CCI, рекомендуемая КБО) разработаны для усредненных условий планеты. В Центральной Азии они зачастую не всегда позволяют корректно интерпретировать реальные изменения: например, переход из класса «Леса» в класс «Травянистые угодья» глобальная матрица интерпретирует как «отрицательный», то есть как деградацию (вырубка леса). Но в контексте аридной зоны, где под «лесами» часто понимаются разреженные саксаульники, ситуация сложнее. Саксаульники — это уникальные пустынные экосистемы, которые могут естественным образом разреживаться в результате засухи, а затем восстанавливаться. Их выпадение с последующим зарастанием участка эфемерами (однолетними травами) далеко не всегда является необратимой деградацией, а может представлять собой фазу естественной циклической динамики. Глобальная матрица переходов классов земель эту цикличность не учитывает.

Неопределенность 2: Игнорирование качества и функциональности переходов внутри одного класса. Еще более тонкая проблема — это изменения, происходящие внутри одного и того же класса земель по глобальной классификации. Например, класс «Пастбища» может включать в себя как высокопродуктивные разнотравно-злаковые сообщества, так и низкопродуктивные полынные пустоши. Переход от первых ко вторым — это серьезная деградация (снижение кормовой емкости), но глобальный индикатор может не фиксировать произошедшие изменения, так как класс земель («Пастбища») формально не изменился. То же самое с пахотными землями: переход «Продуктивные орошаемые земли» в «Засоленные орошаемые земли» — это катастрофа для земледельца, при этом дистанционные данные

могут продолжительное время фиксировать сохранение класса «пашня» (класс не меняется), до момента, когда в результате засоления произойдет полная утрата растительного покрова и территория будет отнесена к классу оголённых почв или деградированных земель. Пример в таблице 4 демонстрирует, как одна и та же пара переходов (из класса А в класс Б) может интерпретироваться по-разному в зависимости от контекста и региональных особенностей. Эти и аналогичные примеры могут использоваться для дополнения или уточнения стандартной глобальной матрицы переходов на региональном уровне.

Таблица 4. Пример различий в интерпретации глобальной и региональной матриц переходов классов наземного покрова для Центральной Азии

Тип перехода (От — К)	Интерпретация в глобальной матрице	Интерпретация в региональном контексте ЦА	Критерии и условия для уточненной интерпретации
Саксаульник (лес) → Эфемеровая пустыня (травянистые)	Отрицательная (Потеря лесов = деградация)	Неопределенная / Требуется верификация	1. Если вызвано рубками и перевыпасом → Отрицательная. 2. Если результат засухи в пределах естественного цикла → Нейтральная (временная флуктуация).
Пашня орошаемая → Залежь с корковой поверхностью	Нейтральная / Положительная (Рост трав на залежи)	Отрицательная (Деградация)	Вывод из оборота высокопродуктивных земель из-за необратимого вторичного засоления. Требуется значительных инвестиций для возврата.
Пастбище (разнотравно-злаковое) → Пастбище (полюнно-эфемеровое)	Нейтральная (класс «Пастбище» не изменился)	Отрицательная (Деградация)	Смена видового состава при сохранении проективного покрытия. Снижение кормовой ценности, формирование «зеленой пустыни».
Целинная пустыня/степь → Пашня богарная	Положительная (Вовлечение в с/х оборот)	Неопределенная / Высокорисковая	Крайне высокий риск ветровой эрозии и потери почвы в засушливые годы. Может привести к необратимой дефляции.

Неопределенность 3. Недоучет природного и накопленного потенциала. Эта проблема заключается в том, что существующие подходы к оценке НБДЗ зачастую не учитывают исходный (природный) или трансформированный природный потенциал территории. Отсутствие дифференцированного подхода к моделям землепользования на основе оценки природного потенциала делает невозможными адекватную оценку НБДЗ и подбор действительно работающих практик землепользования для конкретных условий. Это связано с тем, что допускается:

1. Нивелирование различий: Одинаковые наборы практик применяются как к землям с высоким, так и с низким природным потенциалом, хотя требования к ним существенно различаются.
2. Неверная оценка усилий: Там, где природный потенциал высок, риски деградации низки и не требуют активного вмешательства. Там, где потенциал низок (деградированные земли), необходимы расширенные компенсационные мероприятия. Без учета этого фактора невозможно корректно определить базовую линию НБДЗ и оценить, достигается ли баланс (нейтральность) или происходит истощение ресурса.
3. Подмена понятий: Без учета потенциала и модели землепользования [76] отдельные практики могут ошибочно интерпретироваться как соответствующие целям НБДЗ, несмотря на их ограниченную или контекстно-зависимую эффективность.

Исходное состояние/ Базовая линия НБДЗ	Меры (практики, технологии)		
Природный/ актуальный потенциал	Предупредительные (avoid)	Смягчающие (reverse)	Восстановительные (restore)
Высокий (хорошее состояние)	Пастбищеоборот, Соблюдение нагрузки	Не требуется	Не требуется
Средний (удовлетворительное состояние)	Пастбищеоборот, Соблюдение нагрузки	Снижение нагрузки, подсев трав, мелиорация, источники питьевой воды	Не требуется
Низкий (плохое состояние)	Пастбищеоборот, Соблюдение нагрузки	Снижение нагрузки, подсев трав, мелиорация, источники питьевой воды	Восстановление инфраструктуры (дороги, мосты, укрытия для животных)

Рисунок 19. Принципиальная схема достижения НБДЗ (на примере модели устойчивого землепользования (УЗП) по пастбищному животноводству) в зависимости от исходного состояния (базовой линии) и иерархии компенсационных мероприятий. Стрелками указано направление изменения риска деградации: зеленый – низкий, красный – высокий риск [4].

Пути решения: Для стран региона представляется целесообразным рассматривать возможность разработки и внедрения калиброванных матриц переходов, адаптированных к местным условиям и национальным целям. Реализация такого подхода предполагает междисциплинарное взаимодействие специалистов в области землепользования, дистанционного зондирования, почвоведения, агрономии и управления пастбищными и лесными ресурсами.

8.2. Проблема учета засоления

Вторичное засоление, без преувеличения, относится к числу ключевых факторов деградации орошаемых земель в Центральной Азии. Это главный деградационный процесс для густонаселенных оазисов, который, как ни парадоксально, не всегда в полной мере

отражается в рамках стандартного набора глобальных индикаторов НБДЗ, что создаёт риск недооценки его системного воздействия.

Неопределенность 1: Отсутствие прямого индикатора в базовом наборе. Засоление — процесс, который развивается постепенно и на ранних стадиях малозаметен. На начальных и средних стадиях оно может напрямую не влиять на класс наземного покрова (участок продолжает классифицироваться как пахотная земля, а сельскохозяйственные культуры могут сохранять внешние признаки вегетации)). Оно также слабо коррелирует с запасами органического углерода, особенно в минеральных горизонтах. Его влияние на продуктивность, фиксируемую по NDVI, носит запаздывающий характер. К моменту, когда индекс вегетации начинает неуклонно падать, почва уже может быть потеряна для сельскохозяйственного использования, а солевая корка на поверхности начинает «цвести» белыми кристаллами. Таким образом, дистанционные методы оценки могут фиксировать преимущественно поздние стадии процесса, что сокращает возможности для своевременного принятия превентивных мер. Более того, современные исследования, в том числе проведенные в рамках региональных проектов программы CASILM [13], показывают, что традиционные методы оценки земель часто упускают этот фактор, что требует обязательной интеграции специализированных спектральных индексов засоления в дополнение к стандартному анализу NDVI. В отдельных случаях деградационные процессы в почвенном профиле могут достигать критической стадии, существенно ограничивая или фактически утрачивая агрономический потенциал почвы, тогда как надземная растительность продолжает демонстрировать удовлетворительные показатели вегетации. Подобные ситуации описываются как феномен «зеленой деградации», при котором сохранение или даже временное повышение значений NDVI маскирует глубокое ухудшение почвенных свойств.

Неопределенность 2: Проблема накопленных рисков. Специальные исследования, убедительно показали, что многие современные процессы деградации земель предопределены историей почвообразования и могут быть названы «генетической памятью» почв. Для Центральной Азии, где многие почвы сформированы на древних морских отложениях и аллювиальных равнинах Приаралья и Голодной степи, и ранее неоднократно подвергались циклическому засолению-рассолению, этот фактор является критически важным. Это означает, что даже при кажущемся улучшении мелиоративного состояния (например, после дорогостоящих мероприятий по промывке почвы), риск стремительного возврата засоления остается очень высоким из-за наличия «спящих»

Вставка 1. Пример из практики: «Почему промывка не всегда помогает?»

В 1960-1980-х годах в Голодной степи (территория на границе Узбекистана и Казахстана) проводились масштабные работы по промывке засоленных земель для введения их в хлопковой севооборот. На многих участках после промывки и строительства коллекторно-дренажной сети удалось получить хорошие урожаи. Однако на других участках, где дренаж был недостаточно глубоким, а подпочвенные горизонты содержали огромные резервы солей, эффект оказался краткосрочным. Уже через несколько лет после прекращения интенсивных промывок соли вновь поднялись по капиллярам к поверхности, вернув почву в исходное, еще более деградированное состояние.

запасов солей в нижележащих горизонтах и высокой предрасположенности почвенной структуры (сложения) к развитию этих негативных процессов [94, 95].

Пути решения: В целях повышения чувствительности оценки НБДЗ к процессам вторичного засоления целесообразно рассматривать возможность разработки и применения специализированных национальных индикаторов засоления. Такие индикаторы могут использоваться не в качестве замены, а в дополнение к трем глобальным субиндикаторам, для верификации и уточнения «горячих точек». Перспективным направлением является использование спектральных индексов засоления (например, SI — *Salinity Index*) на основе данных дистанционного зондирования высокого пространственного разрешения (включая Sentinel-2), что позволяет выявлять участки с различной степенью засоления по характерным спектральным признакам поверхности. Полученные карты распределения таких индексов целесообразно сопоставлять с результатами оценки динамики продуктивности и наземного покрова для комплексной интерпретации. Наземные измерения электропроводности почв (полевые кондуктометры) могут использоваться для калибровки и валидации спутниковых индексов. Накопленный опыт Узбекистана и Казахстана в применении ГИС-технологий для картографирования засоления почв может быть обобщен и предложен в качестве основы для формирования регионального обмена практиками и методическими подходами.

8.3. Проблема отражения динамики пастбищных экосистем

Пастбища являются одним из самых сложных объектов для дистанционного мониторинга в рамках концепции НБДЗ. Их состояние определяется не только количеством фитомассы, но и, что критически важно, ее качеством и видовым составом.

Неопределенность 1: Феномен «зеленой пустыни». Как отмечалось выше, высокие значения NDVI на пастбищах могут обеспечиваться непоедаемыми или ядовитыми растениями, тогда как ценные кормовые злаки исчезают. В таких случаях спутниковые данные фиксируют «стабильность» или «улучшение», тогда как на самом деле пастбища утрачивают кормовую ценность и деградируют качественно. Исследования в Кыргызстане и Казахстане подтверждают эти расхождения между спутниковыми индикаторами и фактическим состоянием пастбищ.

Неопределенность 2: Перевыпас против недовыпаса — «ловушка» интерпретации. В странах Центральной Азии, наряду с повышенной нагрузкой на присельные пастбища, отмечается и противоположная тенденция — снижение интенсивности использования отдалённых пастбищных угодий, особенно в горных и пустынных районах. Изменение организационных моделей отгонного животноводства привело к сокращению регулярного использования части сезонных пастбищ.

При снижении пастбищной нагрузки растительный покров на таких территориях может восстанавливаться, однако его структура нередко изменяется в сторону доминирования малоценных или рудеральных видов. Это может сопровождаться накоплением сухой биомассы, повышением пожарной опасности и упрощением структуры растительного сообщества, что влияет на биоразнообразие и хозяйственную ценность угодий.

В условиях увеличения показателей NDVI такие участки могут интерпретироваться в рамках глобального алгоритма как демонстрирующие «улучшение». Однако без учёта

видового состава, пастбищной пригодности и инфраструктурной обеспеченности (наличие водопоев, подъездных путей, сезонных стоянок) подобная интерпретация может быть неполной. Экономическая доступность и функциональная пригодность таких пастбищ также ограничиваются удалённостью и состоянием инфраструктуры, что необходимо учитывать при оценке их роли в системе устойчивого землепользования.

Неопределенность 3: Медленные темпы восстановления. В горных и пустынных экосистемах Центральной Азии восстановление коренных климаксных растительных сообществ после значительных нарушений может занимать продолжительный период, даже десятилетия. Стандартный 15-летний интервал оценки, принятый в методологии НБДЗ, не всегда позволяет в полной мере отразить положительные изменения, связанные с внедрением более щадящих режимов выпаса. Это особенно актуально, если процессы восстановления развиваются на фоне межгодовой климатической изменчивости, которая может маскировать или замедлять проявление устойчивых позитивных трендов в показателях продуктивности.



Рисунок 20. Сравнение двух пастбищ с одинаковым NDVI: одинаковый NDVI, но разная реальность. Спутник фиксирует „зелень“, но не различает кормовую ценность. Только наземная верификация позволяет провести качественную оценку деградиационных процессов.

Пути решения: Для повышения точности оценки состояния пастбищ Центральной Азии целесообразно применять более продвинутые методы анализа временных рядов дистанционного зондирования, позволяющие минимизировать влияние межгодовой климатической изменчивости и сгладить «климатический шум».

В дополнение к спутниковым данным рекомендуется расширять использование механизмов полевой верификации, включая участие местных сообществ, пастбищных комитетов и органов местного самоуправления. Практики общественного мониторинга пастбищ могут служить важным источником дополнительной информации о видовой структуре, фактической нагрузке и хозяйственной ценности угодий.

Также представляется обоснованным рассматривать возможность применения регионально адаптированных пороговых значений NDVI, рассчитанных для конкретных типов пастбищ на основе многолетних наземных наблюдений, вместо использования универсальных глобальных порогов.

8.4. Проблема выбора репрезентативной базовой линии

Согласно базовой методологии КБО, рекомендуется сравнивать состояние по двум периодам (например, «базовый» 2001-2015 и сравнения (2016-2020)). Однако для Центральной Азии, с ее высокой межгодовой изменчивостью климатических параметров и динамикой землепользования, этот, казалось бы, простой подход порождает серьезные неопределенности, способные полностью исказить результаты.

Неопределенность 1: Высокая климатическая изменчивость внутри периода. Период 2000-2015 гг. сопровождался существенной климатической изменчивостью для Центральной Азии. Он включал как относительно влажные годы, так и экстремально засушливые. Более того, в разных регионах влажные и засушливые периоды проявлялись неодинаково. Выбор разных периодов для сравнения (например, 2000-2015 и 2005-2020 год) может дать совершенно разный, часто противоположный результат в зависимости от того, на какие фазы климатического цикла (влажную или сухую) придется эти годы. Это делает оценку крайне чувствительной к случайным флуктуациям.



Рисунок 21. Различия в оценке трендов изменения состояния земель при выборе разных базовых периодов и периодов сравнения (на примере Туркменистана) (по материалам ПРООН-Туркменистан [120])

Неопределенность 2: Влияние социально-экономических сдвигов. В России, Казахстане и других странах постсоветского пространства после распада СССР произошли кардинальные изменения в землепользовании: массовое забрасывание пахотных земель в 1990-х годах, затем их частичное возвращение в оборот в 2000-х. Эти процессы привели к мощной, разнонаправленной динамике продуктивности: на залежах показатель индекса NDVI неуклонно рос за счет естественного зарастания, а на вновь распаханых землях —

часто снижался из-за процессов эрозии и потери органического вещества. Если базовый период включает фазу активного забрасывания земель, последующая динамика может интерпретироваться как «улучшение», даже если она обусловлена естественными сукцессионными процессами.

Неопределенность 3: Недостаточность 15-летнего периода для медленно протекающих процессов. Как отмечалось ранее в отношении пастбищных, лесных и пустынных экосистем, пятнадцатилетний интервал может быть недостаточным для выявления устойчивых долгосрочных трендов, учитывая медленный характер протекания ряда деградационных и восстановительных процессов. Становление саксаульников на осушенном дне Арала или полноценной степной растительности на залежах требует периодов в 30-50 лет и более. Использование относительно короткого базового периода может приводить к тому, что земли, находящиеся на промежуточной стадии восстановления, классифицируются как стабильные или демонстрирующие улучшение. В результате такие территории могут не рассматриваться в числе приоритетных для дополнительных мер, несмотря на то, что их состояние ещё существенно отличается от потенциально достижимого уровня экологической и хозяйственной устойчивости.

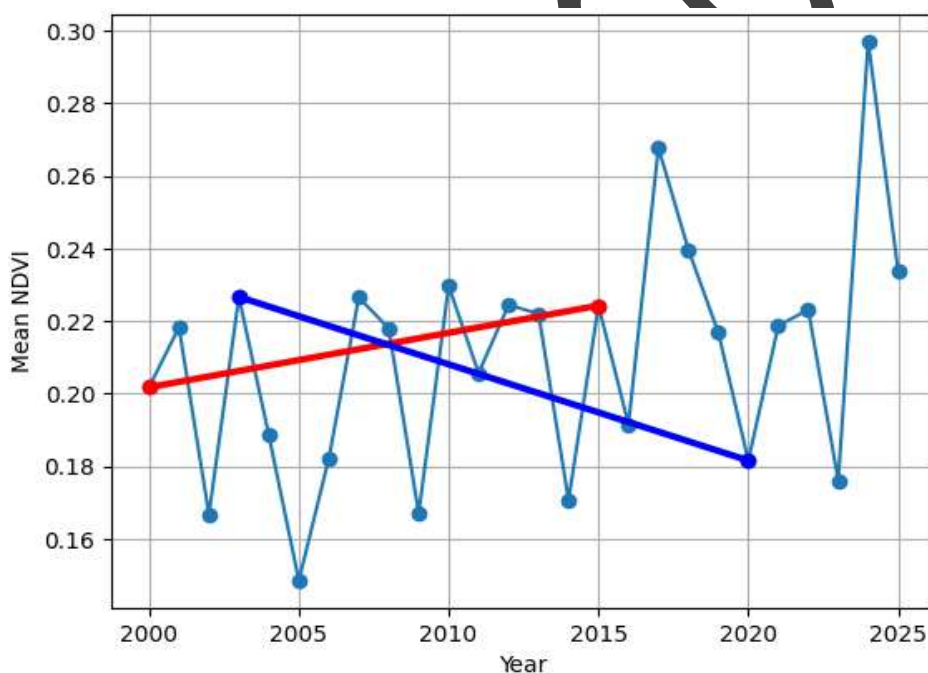


Рисунок 22. Чувствительность оценки трендов деградации полупустынных пастбищ к выбору базовых точек: при высокой межгодовой климатической изменчивости метод «двух дат» может давать противоположные выводы, результат зависит не от реального тренда, а от того, какие годы случайно выбраны как базовые.

Пути решения: В качестве направления совершенствования методики представляется целесообразным переход от упрощённого сопоставления двух периодов к анализу долгосрочных трендов за весь доступный период спутниковых наблюдений (с 2000 года по настоящее время). Такой подход позволяет учитывать межгодовую вариабельность и повышает устойчивость выводов к случайным колебаниям.

Для практических задач управления земельными ресурсами может быть обосновано использование динамической базовой линии, отражающей среднесрочную продуктивность за расширенный период наблюдений. В этом случае текущее состояние участка оценивается относительно его собственной многолетней «нормы», что способствует более корректной интерпретации отклонений.

Кроме того, при анализе трендов рекомендуется учитывать историю землепользования, включая разграничение залежных земель и активно используемой пашни, что позволяет избежать смешения различных по природе процессов восстановления и изменения структуры использования территории.

8.5. Проблема учета исторического наследия («шум прошлого» и накопленные риски)

Земли Центральной Азии несут на себе тяжелый отпечаток решений, принятых десятилетия, а иногда и столетия назад. Это создает мощный «исторический шум» и формирует «накопленные риски», которые глобальная методология НБДЗ, ориентированная на сравнение двух срезов во времени, не учитывает в полной мере.

Неопределенность 1: Заброшенные и «истощенные» земли. Огромные площади орошаемых земель, подвергшиеся в результате интенсивного использования сильному засолению и истощению в советский период, были в конечном итоге заброшены. В настоящее время такие участки могут классифицироваться по спутниковым данным как «прочие земли» либо демонстрировать умеренное увеличение значений NDVI вследствие развития солеустойчивой растительности. Оценка НБДЗ, проведенная по стандартной методике, может показать на этих участках стабильность или даже улучшение, хотя в реальности это глубоко деградированные почвы, утратившие свой потенциал и требующие колоссальных, часто нерентабельных инвестиций для возврата в сельскохозяйственный оборот.

Неопределенность 2: «Генетическая память» почв и накопленные риски. Как уже отмечалось, современные процессы деградации часто являются продолжением долговременных природных трендов (аридизация климата) или следствием прошлых антропогенных воздействий, которые изменили саму «память» ландшафта. Длительное развитие оросительных систем при недостаточном развитии дренажной инфраструктуры способствовало формированию зон с повышенной минерализацией грунтовых вод. Даже если сегодня прекратить орошение и понизить антропогенную нагрузку, линзы минерализованных грунтовых вод будут продолжать влиять на почвы, вызывать капиллярный подъем солей и поддерживать очаги деградации еще десятилетия. Сформировавшиеся в прошлом гидрогеологические и почвенные изменения создают долгосрочные риски, которые могут проявляться с временным лагом. При применении методологии НБДЗ, основанной на сопоставлении показателей в пределах установленного базового периода (2000–2015 гг.) и последующих интервалов, такие накопленные факторы не всегда в полной мере отражаются. Это может приводить к недооценке потенциальных угроз и усложнять корректную расстановку приоритетов в рамках иерархии «Избегать – Сокращать – Восстанавливать».

Неопределенность 3: Нарушенная инфраструктура. Причина продолжающегося засоления на полях, которые все еще используются, часто кроется не в текущих ошибках фермера, а в разрушенной или недостаточной мелиоративной инфраструктуре — обветшавших коллекторах, заиленных дренажных каналах, неработающих насосных станциях. Глобальные индикаторы НБДЗ оценивают только следствие (снижение продуктивности земель, появление пятен засоления), однако не позволяют выявить лежащие в основе инфраструктурные причины происходящих изменений. Отсутствие анализа исторических факторов и состояния дренажных систем может снижать результативность планируемых мероприятий и ограничивать их долгосрочный эффект.

Пути решения:

Для повышения корректности оценки представляется целесообразным учитывать историческую динамику землепользования. Одним из возможных направлений является формирование исторических ГИС-слоёв на основе оцифровки и геопривязки архивных материалов почвенных, мелиоративных и землеустроительных обследований (включая почвенные карты, данные о глубине залегания грунтовых вод и засоления).

Сопоставление таких исторических данных с современными материалами дистанционного зондирования может способствовать более точному пониманию масштаба накопленных изменений и разграничению текущих процессов деградации и долговременных трансформаций ландшафта.

При формировании национальных целей НБДЗ целесообразно учитывать не только предотвращение новых потерь земельных ресурсов, но и возможность поэтапного решения задач, связанных с реабилитацией ранее нарушенных территорий, включая мероприятия по рекультивации и восстановлению инфраструктуры.

8.6. Проблема «серых зон» в горах и предгорьях

В горных и предгорных районах региона, включая территории Кыргызстана и Таджикистана, а также соответствующие зоны Казахстана, Туркменистана и Узбекистана особенности сложного рельефа создают дополнительные ограничения для применения стандартных методов дистанционного зондирования и могут влиять на точность интерпретации результатов.

Неопределенность 1: Недостоверность и ограничения дистанционных методов в горах. Сложный горный рельеф создает ряд проблем для применения дистанционных методов оценки:

- **Затенение:** Глубокие тени, отбрасываемые хребтами, делают невозможным получение спутниковой информации о значительных площадях склонов северной экспозиции.
- **Искажение спектральных характеристик:** Разная освещенность склонов (инсоляция) приводит к тому, что один и тот же тип растительности на южном и северном склонах будет иметь совершенно разные спектральные «подписи», что сбивает алгоритмы автоматической классификации. Ограничения использования вегетационных индексов для выявления деградации пастбищ в горных системах Центральной Азии рассмотрены в [9].

- **Облачность:** Высокогорья очень часто закрыты облаками, что еще больше сокращает количество пригодных безоблачных снимков за сезон. В результате, по некоторым оценкам, до 20% территории высокогорий могут оставаться «серой зоной» для надежного спутникового мониторинга.

Неопределенность 2: Специфика деградационных процессов. В горах основными деградационными процессами являются водная эрозия (смыв почвы), сход селей, оползни, деградация пастбищ на крутых склонах, ведущая к разрушению дернины и формированию промоин. Эти процессы часто имеют локальный, «очаговый» характер и могут быть недостаточно чувствительно отражены глобальными индикаторами с разрешением 250-300 метров в пикселе. Это особенно актуально в случаях, когда деградация не сопровождается изменением класса земель (например, пастбище сохраняет свою категорию, несмотря на формирование эрозионных форм рельефа).

Кейс 4: Ат-Башинский парадокс: как ошибочный диагноз мог бы отпугнуть миллионы на восстановление здоровых пастбищ (по материалам Проекта ФАО/ЮФ «PRAGA», Кыргызстан, 2022 [49]).

Решаемая проблема: Как избежать крупных инвестиционных ошибок, когда глобальные данные указывают на деградацию, а местные жители утверждают обратное? Если довериться только спутниковым данным, можно направить ограниченные ресурсы на «лечение» здоровой экосистемы, проигнорировав реальные очаги проблем.

Контекст: В рамках проекта PRAGA спутниковый анализ, проведенный по методологии ЦУР 15.3.1, четко указал на южную часть Ат-Башинского района как на одну из главных «горячих точек» деградации в Нарынской области. Алгоритмы, основанные на трендах индекса NDVI, показывали устойчивое снижение продуктивности земель на значительной площади. Это был готовый сигнал для международных доноров и национальных программ: «данные территории требуют приоритетного внимания и инвестиций в восстановление».

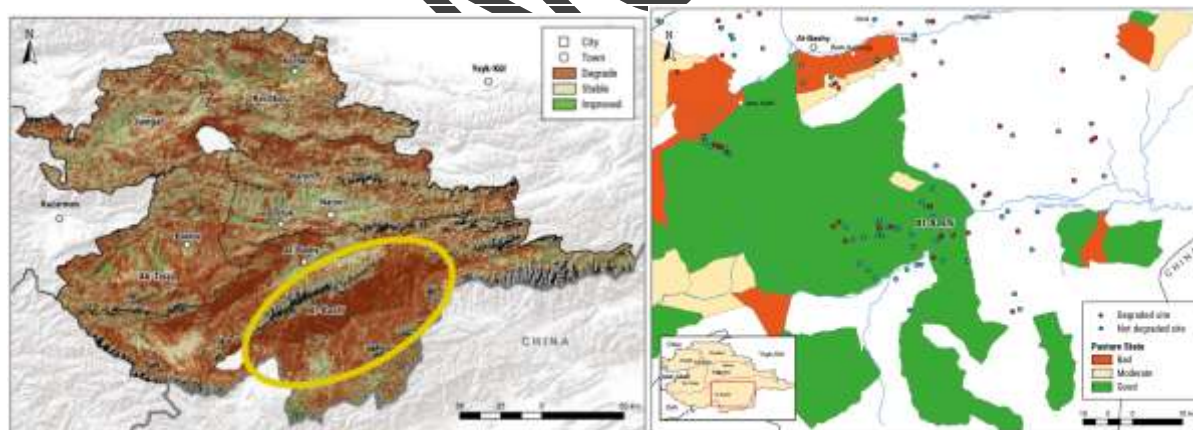


Рисунок 23. Оценка площади деградированных земель с акцентом на территории южной части Ат-Башинского района

Однако местные пастухи и члены пастбищных комитетов на рабочих семинарах категорически не согласились с этим выводом. Они нанесли на карту эти же территории и единогласно оценили их как «хорошие» пастбища, которые всегда были и остаются продуктивными. Возник конфликт интерпретаций, требовавший разрешения до того, как будут спланированы какие-либо мероприятия.

Примененный метод (наземная валидация в спорной зоне): Фокус на «горячей точке»: Исследователи сконцентрировали полевые работы именно в той зоне южнее Ат-Баши, где спутниковые данные показывали деградацию, а пастухи — хорошее состояние.

Применение единых полевых индикаторов: На спорной территории были заложены пробные площадки и проведена оценка по тем же пяти индикаторам: эрозия, проективное покрытие, доля съедобных растений, высота трав, семенное возобновление.

Интегральный анализ: Результаты полевых исследований сопоставили со спутниковой картой деградации и с данными, отражающими восприятие состояния пастбищ местными пастухами.

Результат: Полевые данные подтвердили точку зрения местных пастухов. Большинство пробных площадей в южной части района были классифицированы как «не деградированные». Оказалось, что снижение NDVI, зафиксированное спутником, было вызвано не потерей биомассы, а особенностями высокогорного ландшафта: на этих высотах разреженный растительный покров (менее 70-80%) является нормой, а не следствием перевыпаса. Кроме того, на этих же снимках «деградация» захватывала крутые южные склоны, которые и так всегда менее продуктивны из-за инсоляции и смыва.

Интерпретация: Если бы проектные решения принимались исключительно на основе спутникового мониторинга, средства были бы направлены на фитомелиорацию или изменение режима выпаса на здоровых, хорошо функционирующих пастбищах. Это не только привело бы к прямым финансовым потерям, но и подорвало бы доверие сообщества к любым будущим инициативам («предпринимаются попытки “улучшить” то, что, с точки зрения местных сообществ, уже работает эффективно»). Парадоксально, но реальная проблема, по мнению пастухов, находилась рядом — в пригородных пастбищах у самого поселка Ат-Башы, которые они оценили как «плохие», и где полевые данные подтвердили перевыпас. Спутник же в этом месте, наоборот, показывал «улучшение» за счет роста сорной растительности на заброшенных полях. Ат-Башинский кейс стал классическим примером того, как интеграция местных знаний не просто корректирует, а полностью переворачивает диагностику деградации, делая инвестиции адресными и эффективными.

Пути решения: В горных районах значение наземной верификации существенно возрастает. Учет знаний местных сообществ и пастухов о состоянии конкретных склонов и урочищ может повысить точность интерпретации результатов дистанционного мониторинга. В этой связи целесообразно рассматривать применение методик общественного участия, таких как, например, PRAGA, разработанной для условий Кыргызстана, адаптированных к региональным условиям [49].

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) может служить эффективным инструментом для получения высокдетализированных изображений на репрезентативных участках и мониторинга труднодоступных склонов.

При оценке деградационных процессов в горных экосистемах рекомендуется дополнять анализ глобальных классов наземного покрова локальными, поддающимися полевой проверке индикаторами, такими как плотность эрозионной сети, наличие свежих промоин, следы селевых процессов и состояние пастбищной дернины на конкретных участках.

Вставка 2. Пример использования БПЛА для мониторинга эрозии в Таджикистане

В рамках проектов по адаптации к изменению климата в предгорьях Таджикистана активно используются квадрокоптеры для мониторинга эффективности террасирования склонов. Сравнение ортофотопланов высокого разрешения, полученных с БПЛА до и после террасирования, позволяет с точностью до сантиметра оценить, насколько сократился смыв почвы, где образовались промоины, и как приживаются высаженные на террасах деревья. Эти данные становятся бесценным материалом для калибровки данных дистанционного зондирования и для отчета о прогрессе в достижении НБДЗ на локальном уровне.

8.7. Проблемы институционального и терминологического характера

Опыт стран региона показывает, что даже при наличии развитых систем государственного мониторинга, внедрение концепции НБДЗ сталкивается с серьезными институциональными барьерами, которые часто являются более трудно преодолимыми, чем технические сложности.

Неопределенность 1: Несогласованность базовых понятий. В национальных законодательствах стран региона понятия и термины «земля», «деградация земель», «опустынивание» часто определены по-разному и, что важнее, не всегда соответствуют определениям, принятым в КБО. Например, в некоторых странах понятие «деградация земель» законодательно закреплено только для земель сельскохозяйственного назначения. Это делает невозможным официальный учет и, следовательно, целенаправленную политику по борьбе с деградацией на лесных территориях, на пастбищах (если они не входят в категорию сельхозземель), на землях промышленности и транспорта. Существует разрыв между земельным, водным и лесным законодательством, что препятствует сбору сопоставимых данных для расчета трех субиндикаторов.

Неопределенность 2: Разобщенность ведомств и систем мониторинга. Мониторинг состояния земель в регионе осуществляют разные ведомства, каждое со своей историей, задачами и бюджетами:

- Агентства по земельным ресурсам ведут кадастр и учет земель по категориям.
- Службы гидрометеорологии отвечают за наблюдение за засухами и погодными условиями.
- Министерства сельского хозяйства отслеживают урожайность и продуктивность пастбищ, в некоторых случаях, плодородие почв на пашне.
- Министерства лесного хозяйства имеют данные о лесах и, в ряде случаев, о пастбищах на лесных землях.

Их данные часто несовместимы, используют разные классификации, масштабы карт, периодичность обновления и форматы хранения. Отсутствие единой национальной системы мониторинга, интегрирующей все эти показатели в единую ГИС-платформу, делает невозможным автоматический расчет индикатора ЦУР 15.3.1 и требует колоссальных трудозатрат на «ручную» обработку и согласование.

Неопределенность 3: Отсутствие в законодательстве понятий, связанных с экосистемными услугами. Концепция НБДЗ оперирует современными экономическими терминами, такими как «экосистемные услуги» и «природный капитал». Эти понятия пока отсутствуют в официальном юридическом поле большинства стран региона. В результате усложняется обоснование административных и организационных решений, ориентированных на сохранение этих «неосязаемых» ценностей, а также снижается практическая применимость прогрессивных экономических механизмов, включая платежи за экосистемные услуги.

Таблица 5. Сравнительный анализ определений «деградация земель» в законодательстве (гипотетический пример)

Страна	Законодательный акт	Определение / Объект учета	Проблемы для применения НБДЗ
Страна А	Земельный кодекс	Деградация — ухудшение свойств почв на землях с/х назначения.	Не учитываются пастбища на землях запаса, лесные земли, земли под инфраструктурой.
Страна Б	Закон об охране окружающей среды	Деградация — общее понятие, без привязки к категориям.	Отсутствуют количественные критерии и методики расчета, мониторинг не ведется.
Страна В	Нет определения	Понятие используется в подзаконных актах фрагментарно.	Правовой вакуум, невозможность применения санкций или стимулов.

Пути решения: Рекомендуется поэтапная гармонизация национальных законодательств с терминологией и подходами КБО. В правовое поле целесообразно интегрировать такие понятия, как «деградация земель», «нейтральный баланс деградации земель», «запасы почвенного органического углерода», «экосистемные услуги», «устойчивое землепользование» и другие категории, обеспечивающие сопоставимость и методическую целостность политики в области НБДЗ. Ключевым шагом может стать формирование межведомственных координационных комитетов или советов по вопросам НБДЗ с чётко закреплёнными полномочиями по согласованию методик, агрегированию данных и координации бюджетных приоритетов. Для повышения эффективности такие структуры должны обладать институциональной устойчивостью и ресурсным обеспечением.

Необходимо развивать образовательные и профессиональные программы, ориентированные на подготовку специалистов, владеющих инструментами ГИС и ДЗЗ, а также понимающих концептуальные и методологические основы НБДЗ. Это позволит обеспечить долгосрочную устойчивость мониторинга и планирования.

Межгосударственное взаимодействие целесообразно осуществлять через региональные координационные платформы или механизмы сотрудничества, обладающие экспертным потенциалом и способные обеспечивать обмен данными, согласование подходов и распространение лучших практик.

8.8. Проблема применимости глобальных данных и необходимость их верификации

Пятый блок проблем связан с качеством и применимостью самих глобальных наборов данных, на которых базируются расчеты для глобального уровня оценки.

Неопределенность 1: Низкая точность глобальных данных о почвенном углероде. Глобальные наборы данных, такие как SoilGrids [20], построены на основе машинного

обучения и ограниченного количества точек почвенного опробывания (почвенных разрезов). Они имеют разрешение и, главное, точность, которые во многих случаях оказываются недостаточными для оценки изменений на национальном или региональном уровне за короткие (15-20 лет) периоды, требуют дополнительной калибровки и сопоставления с наземными данными. В России, например, при сравнении с наземными данными расхождения достигали 1,5-3 раз [78, 93]. В Центральной Азии, где почвы часто подвержены засолению, маломощны и имеют сложный генезис, эти ошибки могут быть еще значительнее, что ограничивает использование глобальных данных по углероду в качестве единственной основы для управленческих решений.

Неопределенность 2: Несоответствие национальных и глобальных классификаций.

Национальные системы оценки продуктивности земель (например, бонитет почв, классы бонитета леса) и классификации земель по их хозяйственному использованию часто не могут быть напрямую и однозначно сопоставлены с классами глобальных продуктов (например, ESA CCI или MODIS Land Cover). Таким образом, наблюдается методологическое несоответствие между детализированными местными и национальными знаниями и универсальными глобальными схемами оценки.

Неопределенность 3: Отсутствие систематической валидации. В ряде стран региона системы регулярных и устойчиво финансируемых наземных обследований, необходимых для валидации спутниковых данных и калибровки расчетных моделей с учетом местных условий, находятся на этапе развития или функционируют ограниченно. В этих условиях разовые научные проекты не всегда способны обеспечить непрерывность и сопоставимость данных, требуемых для системной оценки.

Пути решения: Глобальные индикаторы целесообразно использовать в качестве базового подхода и инструмента первичного скрининга (Tier 1 – Уровень 1) [60]. Для повышения точности оценки их рекомендуется дополнять национальными статистическими данными и результатами наземного мониторинга с поэтапным переходом к более детальным уровням Tier 2 и Tier 3.

В части оценки почвенного органического углерода представляется обоснованным использование данных национальных агрохимических служб и почвенных обследований для верификации и калибровки глобальных моделей.

Также целесообразно рассмотреть разработку регионально адаптированных коэффициентов и алгоритмов пересчёта, позволяющих интегрировать национальные данные в формат, соответствующий требованиям отчётности по индикатору ЦУР 15.3.1.

8.9. Итоговые методологические неопределенности и направления их устранения

Проведенный анализ позволяет систематизировать ключевые неопределенности, которые требуют обязательного учета и целенаправленной работы при оценке НБДЗ в Центральной Азии. Указанные положения целесообразно обобщить в виде сводной таблицы, которая может использоваться в качестве ориентировочного инструмента планирования для национальных экспертных групп.

Таблица 6. Сводная таблица «пробелов» и рекомендаций по их устранению

Категория	Ключевой пробел / Неопределенность	Меры по снижению методологических ограничений
Институциональная	Терминологическая несогласованность, разобщенность ведомств, отсутствие единой системы мониторинга, кадровый дефицит.	1. Гармонизировать законодательство с определениями КБО. 2. Создать межведомственные координационные комитеты по НБДЗ. 3. Разработать и внедрить образовательные программы по ГИС/ДЗЗ и НБДЗ.
Продуктивность земель	Сложность разграничения климатического шума и тренда, феномен «зелёной пустыни» и недоучёт качества растительности.	1. Перейти от точечного сравнения к анализу трендов. 2. Обязательно использовать наземную верификацию и данные пастбищных комитетов.
Динамика наземного покрова	Ограниченная применимость глобальной матрицы переходов в условиях региона	Разработать национальные (калиброванные) матрицы переходов для ключевых типов землепользования (орошаемые земли, пастбища, тугай).
Засоление	Отсутствие прямого индикатора, запаздывающий эффект, недоучет «генетической памяти» почв и накопленных рисков.	1. Внедрить дополнительные национальные индикаторы (спектральные индексы засоления, данные электропроводности). 2. Создать ГИС-слои исторических данных (почвенные карты, карты засоления) для анализа накопленного ущерба.
Базовая линия	Чувствительность оценки к выбору временного периода и ограниченность 15-летнего интервала для фиксации медленной динамики.	1. Использовать методы скользящего среднего и анализа трендов за весь период наблюдений. 2. Устанавливать динамическую базовую линию 3. Учитывать историю землепользования (залежи, освоение целины).
Пространственные данные	Ограниченная точность глобальных данных (особенно в отношении почвенного углерода) и наличие «серых зон» в горных территориях.	1. Использовать глобальные данные только как рамочные, обязательно верифицируя их национальными данными. 2. В горах применять БПЛА и методы наземного мониторинга для верификации. 3. Калибровать глобальные модели почвенного углерода по данным национальных обследований.

Глава 9. Заключительные рекомендации по адаптации методологии НБДЗ для стран Центральной Азии

1. **Гармонизация и координация:** Целесообразно обеспечивать согласование национальных определений и подходов с терминологией и методическими рамками КБО, а также рассматривать создание или укрепление постоянно действующих межведомственных механизмов координации по вопросам НБДЗ.
2. **Переход на многоуровневую систему (Tier 1-2-3):** Рекомендуется поэтапное расширение применения продвинутых методов анализа (оценка трендов, анализ повторяемости и устойчивости сигналов) с постепенным переходом к уровням Tier 2 и Tier 3. Существенным элементом такого перехода является регулярная наземная верификация, включая участие местных сообществ и практиков землепользования.
3. **Разработка и утверждение национальных индикаторов:** Представляется обоснованным формирование перечня дополнительных национально релевантных индикаторов (например, показатели засоления, эрозионные индексы, характеристики видового состава пастбищ, состояние мелиоративной инфраструктуры), используемых для уточнения и верификации глобальных данных в рамках НБДЗ.
4. **Калибровка инструментов:** Целесообразно адаптировать пороговые значения NDVI и матрицы переходов наземного покрова с учетом ключевых типов ландшафтов/экосистем региона. Такую работу рекомендуется осуществлять координированно, в том числе в рамках межрегионального сотрудничества (например, с использованием возможностей Межрегиональной группы КБО «Центральная Азия — Россия»).
5. **Интеграция данных в единые платформы:** Перспективным направлением является развитие национальных ГИС-платформ, интегрирующих спутниковые данные, результаты наземного мониторинга, оцифрованные исторические материалы, кадастровую информацию и данные от местных сообществ. При этом желательно обеспечивать прозрачность и доступность верифицированной информации для научных, образовательных и управленческих структур.
6. **Учет исторического наследия:** При формировании национальных добровольных целей НБДЗ [71] целесообразно учитывать задачи по поэтапной реабилитации территорий с накопленными нарушениями, включая мероприятия по рекультивации и восстановлению дренажной инфраструктуры.
7. **Институционализация подхода:** Рекомендуется интегрировать результаты адаптированной оценки НБДЗ в процессы стратегического и территориального планирования, включая схемы землеустройства, региональные стратегии развития и программы социально-экономической поддержки.

Заключение к части II

Представленные в части II практические кейсы и методические подходы убедительно демонстрируют, что проведение этапа критического анализа и системной адаптации методологии НБДЗ является важным условием её эффективного применения. Такой подход позволяет рассматривать НБДЗ не только как инструмент отчётности, но и как основу для

подготовки обоснованных управленческих решений в сфере устойчивого землепользования с учётом специфики природных и социально-экономических условий Центральной Азии.

ADVANCE COPY

ЧАСТЬ III. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО АДАПТАЦИИ МЕТОДОЛОГИИ НБДЗ: РЕГИОНАЛЬНЫЕ КЕЙСЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

Введение

В Части II данного Практикума проведен детальный анализ неопределенностей, возникающих при прямом применении глобальной методологии НБДЗ в условиях Центральной Азии и аридных зон России. Анализ показывает, что универсальные алгоритмы, разработанные для обобщённых глобальных условий, могут демонстрировать ограничения при применении в контексте региона, характеризующегося высокой климатической вариабельностью, сложной историей землепользования, специфическими деградационными процессами (включая вторичное засоление и феномен «зелёной деградации» пастбищ), а также институциональной фрагментацией систем мониторинга. Однако постановка диагноза — это лишь отправная точка. Третья часть данного Практикума посвящена главному — практическим решениям, а именно переходу от выявления проблем к их системному преодолению. Цель — предоставить национальным экспертам, специалистам органов планирования и проектным группам практико-ориентированный, поэтапный инструмент для адаптации методологии НБДЗ к национальному контексту. Такой инструмент призван способствовать не только выявлению фактов деградации, но и более глубокому пониманию её механизмов, оценке возможных сценариев развития и количественному обоснованию приоритетных мер и инвестиций. Структура данной части выстроена как последовательный переход от анализа фундаментальных элементов методологии (включая формирование базовой линии) к рассмотрению более сложных композитных подходов и далее — к институциональным механизмам, обеспечивающим устойчивость системы в целом. Каждый раздел содержит:

- Четкую формулировку решаемой проблемы (из числа перечисленных в Части II).
- Детальное описание предлагаемого методического подхода или их комбинации.
- Один или несколько страновых кейсов, иллюстрирующих применение подхода на практике, с количественными результатами и выводами.
- Практические рекомендации по внедрению для стран региона.

В данном разделе рассматривается применение методических подходов на основе практических примеров из Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана, Узбекистана, России (Республика Калмыкия, Волгоградская область, Самарская область), опираясь на материалы проектов ПРООН-ГЭФ, ФАО, Всемирного банка и научные публикации последних лет. Такой подход принципиально важен: он демонстрирует, что речь идёт не о гипотетических улучшениях методологии, а именно о практических инструментах, уже прошедших успешную апробацию и верификацию на конкретных территориях.

Глава 10. Переход от статической оценки к динамическому пониманию деградации земель

10.1. Индекс НБДЗ как инструмент поддержки принятия решений

Современная международная система мониторинга деградации земель базируется на индикаторе ЦУР 15.3.1 — доле деградированных земель в общей площади суши. Этот показатель сыграл важную роль в формировании глобальной повестки устойчивого развития и стал основой для сопоставимой добровольной отчётности стран. Однако с накоплением практического опыта стало очевидно, что использование этого показателя в самостоятельном виде не всегда позволяет в полной мере отразить фактическую динамику земельных процессов на региональном уровне и создать достаточную основу для последующих управленческих решений.

Логика концепции НБДЗ предполагает достижение баланса между потерями и восстановлением земель. На практике же индикатор 15.3.1 фиксирует только одну сторону этого баланса — деградацию. Улучшение земельных ресурсов остаётся за пределами итоговых показателей и учитывается лишь косвенно. В аридных и полуаридных условиях центральноазиатского региона это приводит к парадоксальной ситуации: территории, где одновременно происходят значительные процессы восстановления и деградации, могут демонстрировать одинаковые значения индикатора 15.3.1 с регионами, где восстановление практически отсутствует.

Ответом на это методическое ограничение стало предложение по использованию интегрального показателя — Индекса НБДЗ [3]. В отличие от индикатора ЦУР 15.3.1, он отражает баланс процессов и рассчитывается как разность долей улучшенных и деградированных земель. Этот показатель ставит в центр внимания ключевую идею нейтральности — необходимость компенсировать потери восстановлением.



Рисунок 24. Формула расчета Индекса НБДЗ

Индекс НБДЗ следует рассматривать как дополнительный диагностический инструмент для анализа баланса между деградацией, стабильностью и улучшением земель на региональном или субнациональном уровне. Его задача — помочь интерпретировать результаты базовой оценки, выявлять приоритетные территории для вмешательства и сопоставлять различные сценарии управления земельными ресурсами.

Практическая ценность Индекса НБДЗ проявляется особенно явно при анализе пространственной неоднородности деградации земель, что можно продемонстрировать

данными на рисунке 25. Индекс наглядно показывает различия между анализируемыми территориями, что позволяет принимать взвешенные решения по размещению приоритетных мер на субнациональном уровне: внутри страны могут сосуществовать области с преобладанием деградации и области с устойчивым улучшением. Такой результат принципиально меняет подход к планированию мер: вместо равномерного распределения ресурсов появляется возможность воздействия на приоритетные регионы.

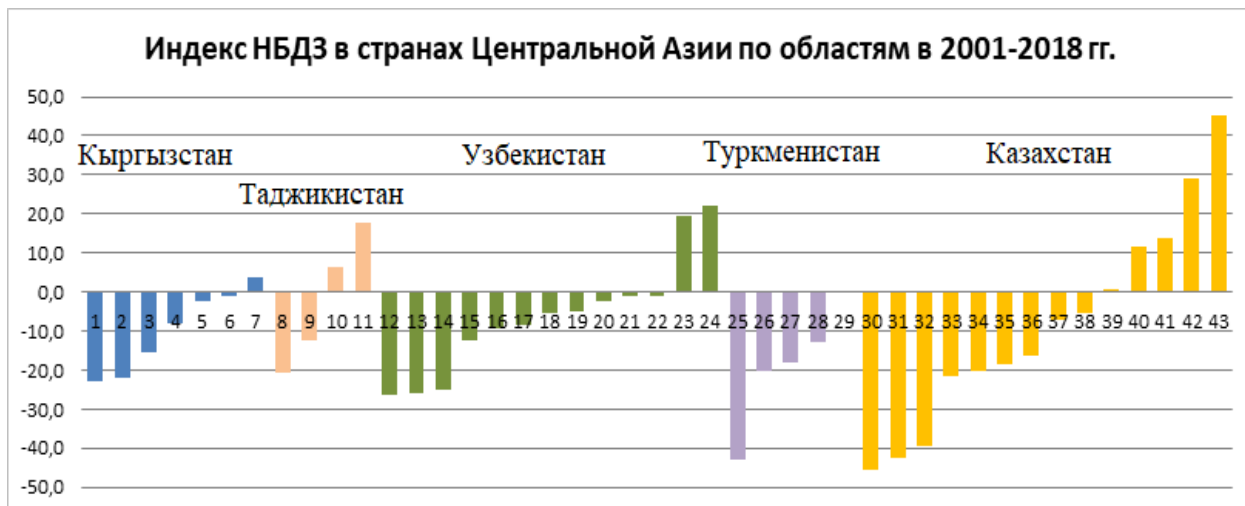


Рисунок 25. Индекс НБДЗ в странах Центральной Азии по областям в 2001-2018 гг. при базовом периоде 2001-2005 гг. (по состоянию на 2019 г.) [34].

Пояснение к рисунку:

Кыргызстан: 1 – Таласская область, 2 – Чуйская область, 3 – Нарынская область, 4 – Иссык-Кульская область, 5 – Джалал-Абадская область, 6 – Ошская область, 7 – Баткенская область;

Таджикистан: 8 – Горно-Бадахшанская область, 9 – Согдийская область, 10 – Районы республиканского подчинения, 11 – Хатлонская область;

Узбекистан: 12 – Джизакская область, 13 – Капкадарьинская область, 14 – Самаркандская область, 15 – Бухарская область, 16 – Навоийская область, 17 – Андижанская область, 18 – Ташкентская область, 19 – Наманганская область, 20 – Республика Каракалпакстан, 21 – Сырдарьинская область, 22 – Сурхандарьинская область, 23 – Ферганская область, 24 – Хорезмская область;

Туркменистан: 25 – Марыйский велаят, 26 – Лебапский велаят, 27 – Балканский велаят, 28 – Ахалский велаят, 29 – Дашогузский велаят;

Казахстан: 30 – Западно-Казахстанская область, 31 – Актюбинская область, 32 – Костанайская область, 33 – Акмолинская область, 34 – Атырауская область, 35 – Мангистауская область, 36 – Туркестанская область, 37 – Северо-Казахстанская область, 38 – Кызылординская область, 39 – Павлодарская область, 40 – Алматинская область, 41 – Жамбылская область, 42 – Карагандинская область, 43 – Восточно-Казахстанская область.

Как будет показано ниже, предлагаемый Индекс НБДЗ может иметь дополнительную аналитическую ценность при работе с многолетними временными рядами. Его применение позволяет оценивать не только текущее состояние земель, но и направление изменений. Кроме того, использование индекса создает предпосылки для количественной оценки вероятных будущих тенденций, что имеет важное значение для планирования практических мер по достижению НБДЗ.

10.2. Решение проблемы базовой линии: переход к динамическому анализу изменчивости для использования на субнациональном и местном уровнях

Одним из наиболее дискуссионных элементов глобальной методологии НБДЗ является выбор базового периода, относительно которого оцениваются изменения состояния земель

во времени. В международных рекомендациях закреплён фиксированный период начала XXI века, в качестве отправной точки для большинства оценок. Такой подход оказался полезным на глобальном уровне, где требуется единая точка отсчёта для сопоставимости данных. Однако при переносе этой логики на региональный и национальный уровни выявились серьёзные ограничения.

Проблема: Результаты оценки могут демонстрировать повышенную чувствительность к выбору базового периода и периода сравнения, особенно в условиях высокой межгодовой климатической изменчивости. Сопоставление двух временных срезов способно интерпретировать краткосрочные климатические колебания как устойчивые тренды деградации или восстановления, что может влиять на стабильность выводов и сопоставимость отчетных данных. Для Центральной Азии выбор фиксированного базового периода оказался особенно проблематичным. Регион пережил глубокие социально-экономические трансформации землепользования после распада Советского Союза, включая массовое забрасывание сельскохозяйственных земель, изменение структуры пастбищного использования и перестройку ирригационных систем. В результате многие процессы, зафиксированные в начале 2000-х годов, отражают не устойчивое состояние ландшафтов, а фазу резкой перестройки хозяйственной системы.

Предлагаемое решение. Понимание этой проблемы, наложенной на высокую межгодовую изменчивость климата, привело к разработке подхода с использованием **динамической базовой линии и переходу к анализу трендов на основе полного временного ряда**. Вместо сравнения двух фиксированных периодов предлагается использовать в качестве базы для сравнения весь доступный период наблюдений (как правило, с 2000-2001 гг. по настоящее время). Состояние земель в каждый конкретный период (например, пятилетие) оценивается не относительно какого-либо периода в прошлом, а относительно среднелетней «нормы» для данного пикселя или участка. Такой подход позволяет сгладить влияние экстремальных климатических событий и получить более устойчивую оценку долгосрочного состояния земель.

Технически это реализуется через **метод скользящего среднего (moving average)**, когда анализируется не один, а серия перекрывающихся временных интервалов (например, 2001–2005, 2003–2007, 2005–2009 гг. и т.д.). Среднее или медианное значение за весь период (на момент подготовки данного Практикума это 2001–2022 гг.) принимается за реперную линию (0), относительно которой отсчитываются отклонения в каждом временном срезе.

Кейс 5: Калибровка базовой линии для орошаемых земель Узбекистана [36]

Контекст: В Ферганской долине в Узбекистане в последние годы проводились масштабные работы по восстановлению ирригационных и дренажных систем, эффективность которых подтверждена данными национальной статистики. Стандартный подход с использованием фиксированного периода базовой линии (2001–2005 гг.) не позволял отразить эти результаты, что вызывало сомнения в применимости данного метода в принципе.

Применение метода: В качестве альтернативного подхода было предложено рассчитать среднееголетние значения NDVI за 2001–2022 гг. для каждого пикселя и принять их за условный «0». Затем для последовательных пятилетних периодов (2001–2005, 2003–2007, ..., 2016–2020) вычисляли отклонение от этого медианного значения. Полученная динамика была визуализирована в виде графиков и карт.

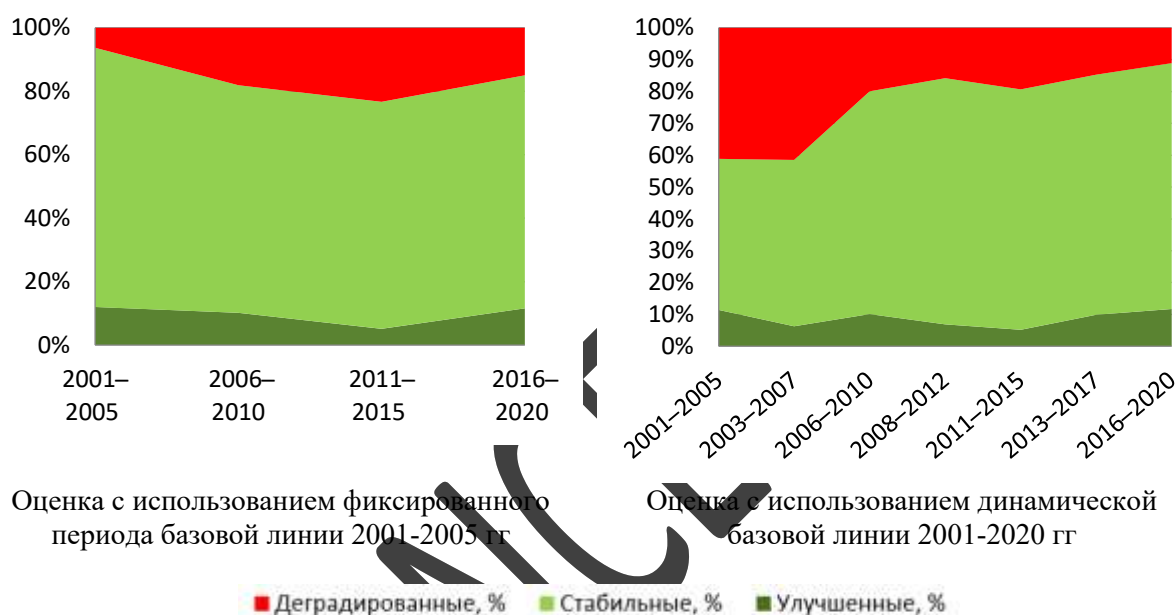


Рисунок 26. Различия в оценке динамики земель в Ферганской области Узбекистана с использованием разных подходов к установлению базовой линии

Результат: Переход к динамической базовой линии позволил наглядно продемонстрировать, когда условия были лучше или хуже среднего, и зафиксировать последовательное улучшение земель в регионах, где на протяжении последних 15–20 лет проводились масштабные инвестиции в повышение эффективности ирригационных систем.

Кейс 6: Калибровка базовой линии для пастбищ Туркменистана *(по материалам проекта ПРООН-Туркменистан, 2025 [120])*

Контекст: В Дашогузском и Лебапском велаятах Туркменистана, где продуктивность пастбищ значительно колеблется от года к году, стандартный подход давал противоречивые результаты, и было невозможно надежно определить, идет ли речь о долгосрочной деградации или о временной засухе.

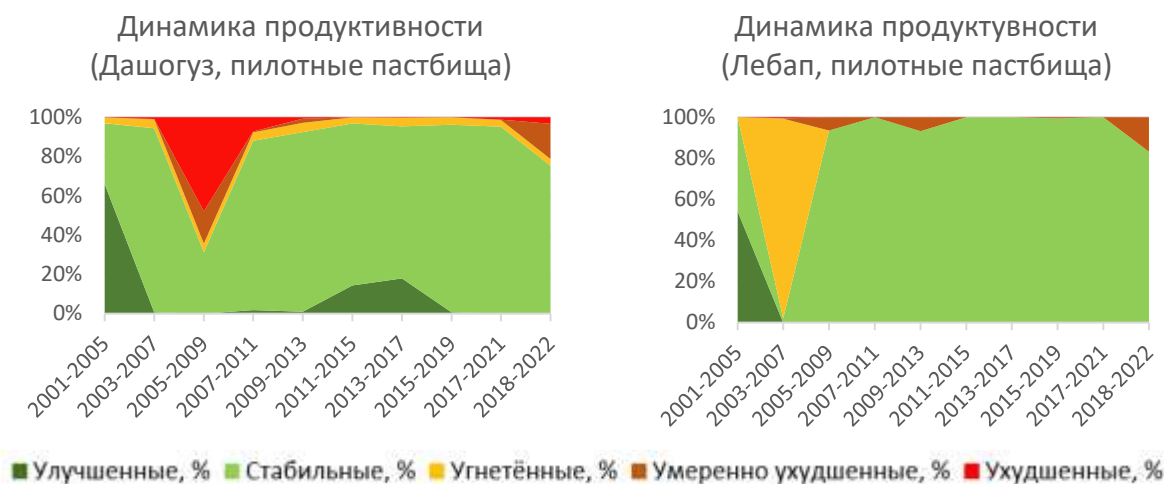


Рисунок 27. Динамика отклонения продуктивности пастбищ от среднегодовой нормы в Дашогузском и Лебапском велаятах Туркменистана

Применение метода: Расчет среднегодовых значений NDVI за 2001–2022 гг. и динамики по пятилетним периодам для каждого пикселя наглядно показал, когда условия были лучше или хуже среднего. Помимо того, что этот прием продемонстрировал различия в динамике пастбищных участков, это также позволило отделить долгосрочные тренды от краткосрочных колебаний, связанных с засухливыми или влажными циклами.

Переход к динамической базовой линии можно рассматривать как фундаментальный шаг к адаптации глобальной методологии к условиям регионов с высокой климатической и социально-экономической изменчивостью. Этот подход лег в основу многих последующих средств для анализа трендов, волатильности, точек перелома и повторяемости.

Глава 11. Новые возможности использования динамической базовой линии и анализа временных рядов

Одним из наиболее важных следствий перехода к динамической базовой линии является появление возможности полноценного анализа временных рядов индикаторов состояния земель. Если традиционная методология КБО фактически сравнивает два фиксированных периода, то предлагаемая новая логика рассматривает деградацию или улучшение земель как непрерывный процесс, развивающийся во времени.

Как было отмечено выше, ключевым инструментом такого анализа является метод скользящего среднего. Его использование открывает возможность перехода от простого мониторинга к анализу трендов: не только фиксировать факт деградации, но и оценивать скорость её развития. Такой подход создаёт предпосылки для более продвинутых аналитических процедур, включая оценку вероятных сценариев дальнейшей динамики. Ниже последовательно рассматриваются соответствующие методические возможности.

Кейс 7: Количественная оценка волатильности отчетности в Кыргызстане и Таджикистане [12].

Решаемая проблема: Значительная зависимость итоговой оценки доли деградированных земель от выбора базового периода, что делает национальные и субнациональные отчеты уязвимыми для критики и манипуляций.

Контекст: При подготовке национальных отчетов для КБО возник вопрос: насколько надежны оценки, если они столь заметно меняются при сдвиге базового периода?

Применение метода: Сравнение результатов оценки доли деградированных земель за один и тот же мониторинговый период (2016–2020), используя два подхода: (а) фиксированный базовый период 2001–2015 гг., рекомендованный для отчетности PRAIS, и (б) динамический подход со скользящим средним, где за базу принимался весь период 2001–2020 гг.

Результат: Результаты выявили значительную степень расхождений. Использование базового периода 2001–2015 годов привело к существенному занижению доли деградированных земель до 70% для индекса НБДЗ и до 44% для значения ЦУР 15.3.1 по сравнению с базовым периодом 2001–2020 годов. На субнациональном уровне расхождения достигают даже больших величин, маскируя не только участки деградации, но и участки улучшения, что не позволяет принимать взвешенные решения по управлению землепользованием.

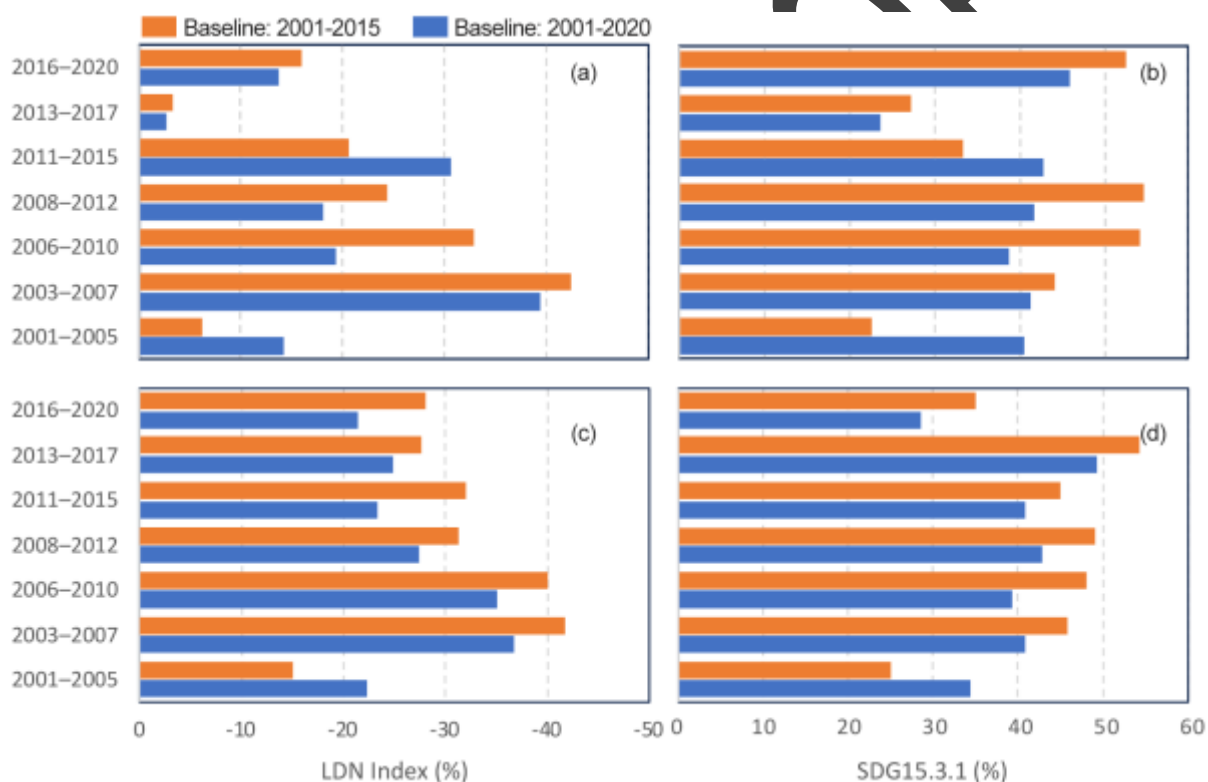


Рисунок 28. Сравнение значений национального индекса НБДЗ и индикатора ЦУР 15.3.1 для двух базовых периодов (2001–2020 и 2001–2015) для Кыргызстана (панели а и б) и Таджикистана (панели с и d)

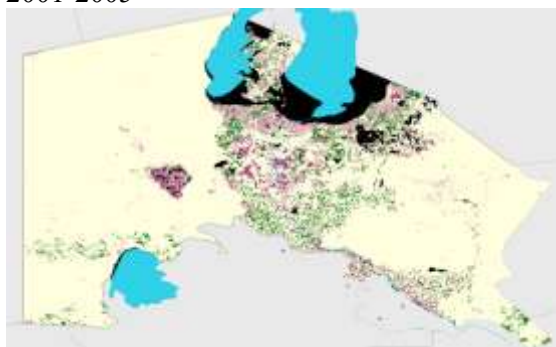
Эти примеры иллюстрируют фундаментальную зависимость показателей НБДЗ от выбора базового периода и, как следствие, нестабильность отчетности. Иначе говоря, если при использовании фиксированных базовых периодов оценки деградации могли существенно меняться при каждом обновлении данных, то использование метода скользящего окна на основе динамической базовой линии позволяет стабилизировать результаты и повысить доверие к системе мониторинга.

Кейс 8: Оценка пространственно-временной динамики трендов продуктивности в Каракалпакстане (по материалам проекта ПРООН-Узбекистан, 2025 [121]).

Контекст: Для оценки прогресса в достижении целей НБДЗ на субнациональном уровне важно понять, возрастает или снижается продуктивность земель в долгосрочной перспективе, и где именно.

Применение метода: На основе рядов данных, получаемых в полуавтоматическом режиме с помощью Trends.Earth, составляются карто-схемы, наглядно демонстрирующие как пространственное распределение трендов изменений продуктивности по пятилеткам, так и их попиксельную динамику.

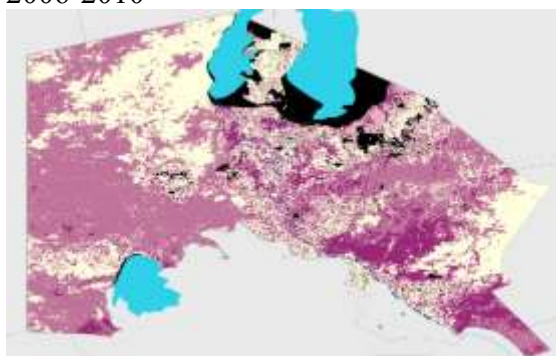
2001-2005



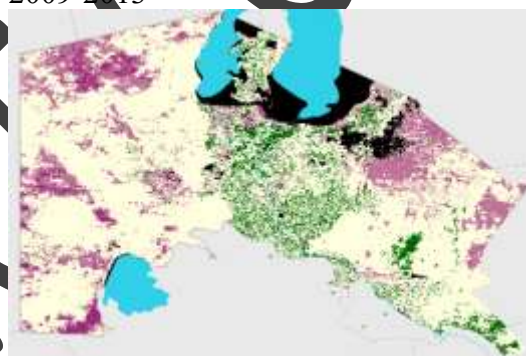
2003-2007



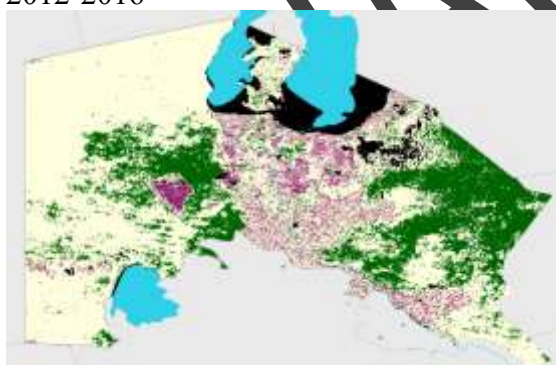
2006-2010



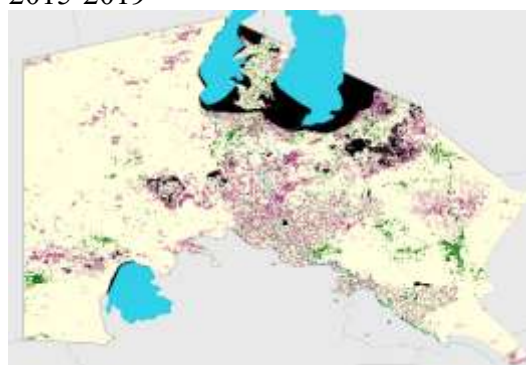
2009-2013



2012-2016



2015-2019



2018-2022



Рисунок 29. Динамика изменений трендов продуктивности земель в Каракалпакстане

Результат: Эти картографические материалы в последующем используются для оценки трендов, прогноза и уточнения расположения «горячих точек» и участков устойчивого улучшения. Это позволяет перейти от бинарной оценки «деградация есть/нет» к пониманию пространственно-временной динамики, обратимости и направленности процессов.

Кейс 9: Выявление точек перелома в Таджикистане.

Особую ценность анализ временных рядов приобрёл при выявлении так называемых точек перелома — моментов времени, когда направление тренда изменяется. Такие точки часто совпадают с крупными экономическими реформами, изменениями в системе землепользования или экстремальными климатическими событиями. Их выявление открывает новые возможности для оценки эффективности политики и планирования адаптационных мер.

Решаемая проблема: Необходимость выявления моментов коренной смены тенденций, когда накопленное воздействие или климатический шок переводят систему в новое, часто необратимое состояние.

Контекст: Анализ многолетней динамики продуктивности земель в Таджикистане показал, что тренд не является линейным на всем протяжении 20-летнего периода.

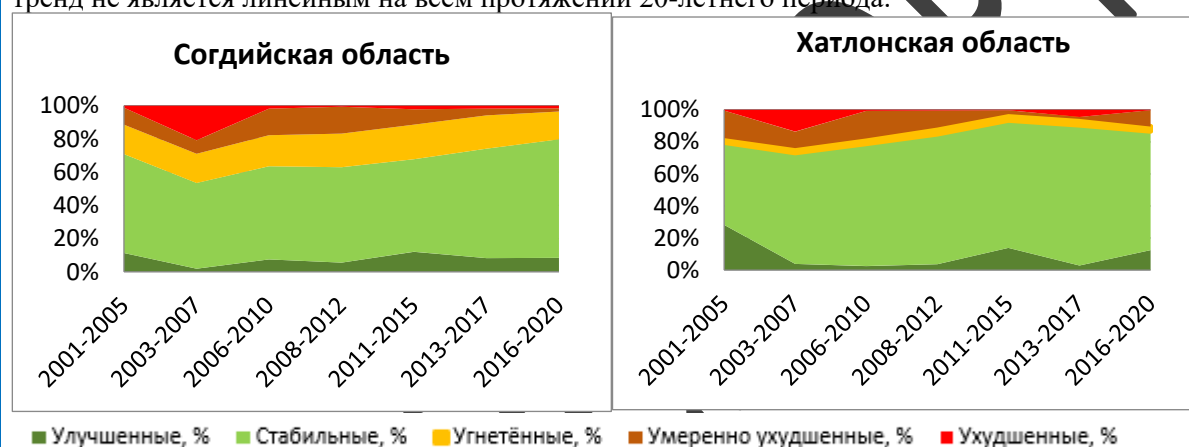


Рисунок 30. Динамика индикатора продуктивности земель в Таджикистане

Применение метода: С помощью непараметрического теста Петтитта (Pettitt test) были проанализированы временные ряды динамики продуктивности и Индекса НБДЗ для выявления статистически значимого момента смены среднего значения ряда.

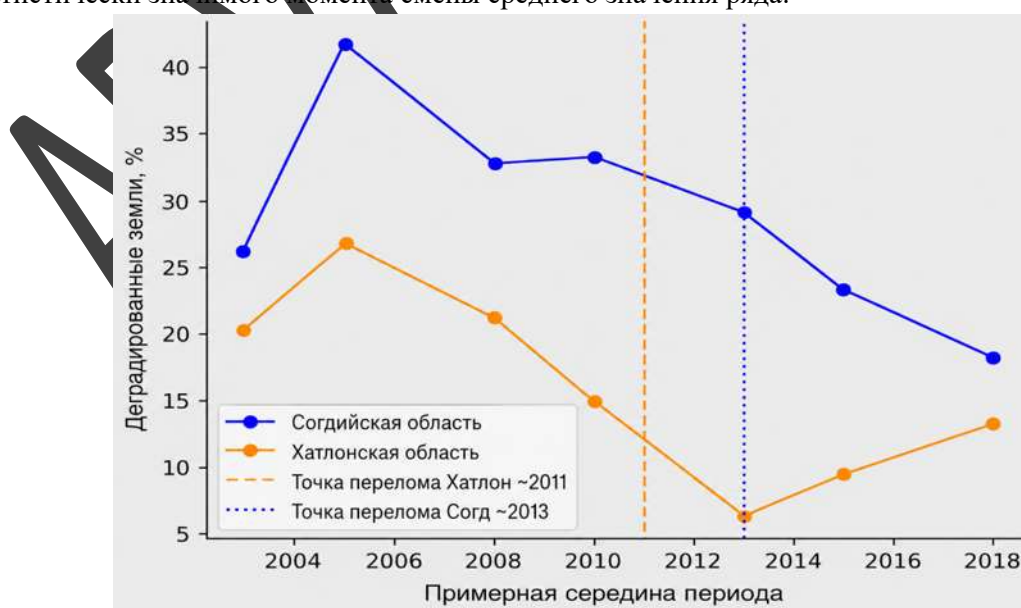


Рисунок 31. График динамики доли деградированных земель за 2001-2020 г. с точками перелома

Результат: Обнаруживается выраженная точка структурного перелома в обеих анализируемых областях. В Хатлонской области статистически значимое изменение режима наблюдается примерно в 2010–2011 гг., когда происходит резкое снижение доли деградированных земель с уровня 20–27 % в ранние периоды до 6–13 % в последующие годы.

В Согдийской области перелом фиксируется несколько позже — около 2012–2013 гг., где отмечается переход от более высокого уровня деградации (в среднем 30–40 %) к устойчиво более низким значениям (18–23 %). Тест Петтитта подтверждает наличие смены средних значений временных рядов и указывает на начало устойчивого улучшения состояния продуктивности земель в начале 2010-х годов, причём в Хатлонской области данный процесс начался раньше и носил более выраженный характер.

Понимание того, что деградация земель реагирует на управленческие решения, превращает систему мониторинга из пассивного инструмента наблюдения в механизм обратной связи. Это означает, что результаты оценки могут использоваться не только для отчётности, но и для корректировки политики в режиме реального времени.

Глава 12. Выявление «горячих точек» деградации земель и участков устойчивого восстановления.

Следующим важным шагом стало развитие методов анализа повторяемости состояний земель. Этот подход основывается на простой, но чрезвычайно важной идее: краткосрочные изменения могут быть случайными, тогда как повторяющиеся изменения свидетельствуют о наличии устойчивого процесса.

Использование этого метода позволило выделять территории, где деградация проявляется регулярно и устойчиво. Эти участки получили название «горячих точек». Аналогичным образом были выявлены территории устойчивого улучшения — где улучшение происходит устойчиво на протяжении длительного времени (bright-spots). Оказалось, что именно они представляют наибольший интерес с точки зрения управления землепользованием.

Одним из наиболее неожиданных результатов стало то, что, как правило, устойчивые горячие точки занимают очень небольшую долю территории. Однако именно они оказывают непропорционально большое влияние на общую динамику деградации. Данный вывод имеет важное прикладное значение, поскольку указывает на возможность повышения эффективности мер по достижению НБДЗ за счёт их концентрации на ограниченном числе наиболее уязвимых или проблемных зон. Такой переход от усреднённых оценок к пространственно точным решениям можно считать одним из ключевых достижений современной адаптации методологии НБДЗ.

Кейсы 10 и 11: Анализ частоты повторяемости трендов в веляте Дашогуз, Туркменистан (по материалам проекта ПРООН-Туркменистан, 2025 [120], Республике Калмыкия (по материалам отчета ИГРАН, 2025 [118]).

Решаемая проблема: Как дифференцировать зоны хронической, устойчивой деградации от зон, где негативные проявления носят случайный, эпизодический характер, связанный с климатическими флуктуациями или временными мерами? Как надежно локализовать «горячие точки» для инвестиций, чтобы не тратить ресурсы на участки, которые «сами восстановятся» во влажный год?

Контекст: В зоне Приаралья, с ее экстремальной экологической и климатической изменчивостью, традиционные методы не позволяли надежно локализовать участки для первоочередного восстановления. Результаты варьировались от выбора засушливого или влажного года. Более того, попиксельный анализ серий карт показывал, что на большей части территории повторяющиеся тренды ухудшения-улучшения отмечались в весьма незначительной доле случаев, большая часть повторяющихся состояний отвечало категории «стабильность».

Применение метода: Был применен алгоритм анализа повторяемости [132]. Для каждого пикселя за период 2001–2022 гг. было подсчитано, в скольких из десяти пятилетних срезов (2001–2005, 2003–2007,..., 2018–2022) он классифицировался как «деградированный» по интегральному индикатору SDG 15.3.1. В результате получается растр, где значение каждого пикселя — это частота проявления деградации (от 0 до 100%). Аналогичные расчеты проводятся для стабильных состояний и трендов улучшения.

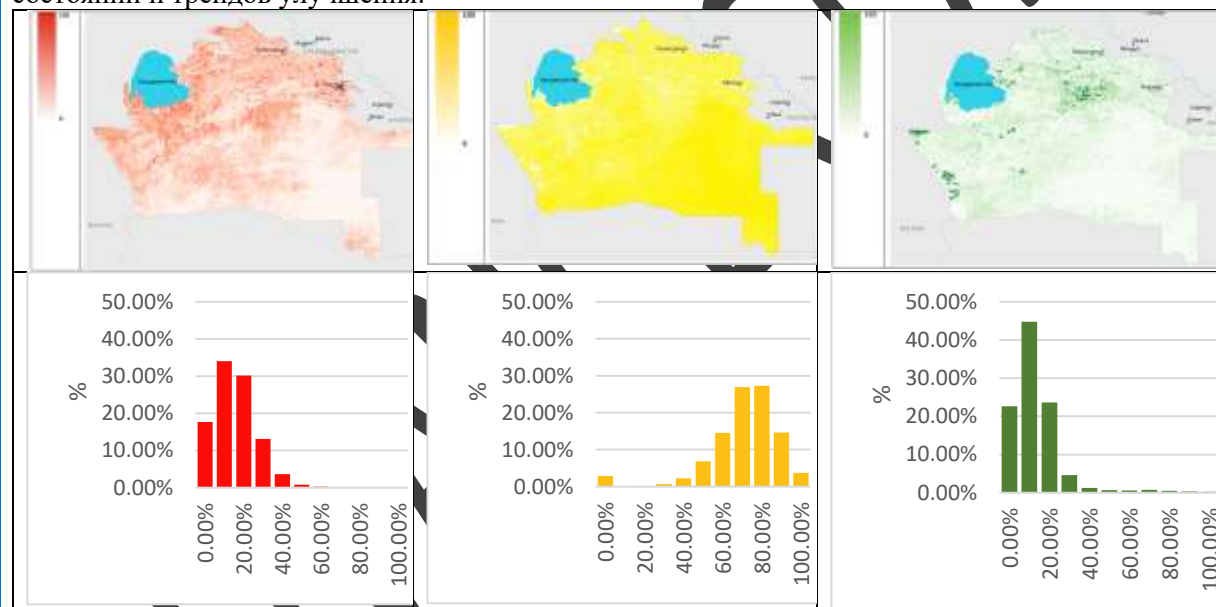


Рисунок 32. Анализ повторяемости трендов ухудшения – стабильности – улучшения (справа налево). Верхняя строка: картографическая интерпретация для велята Дашогуз, нижняя строка: расчетная гистограмма для этрапа Рухубелент того же велята [120].

На основе этих растров выделяется несколько категорий земель:

- **«Горячие точки» (Hotspots):** частота деградации > 70%. Это зоны хронической, устойчивой деградации, требующие безотлагательных мер по восстановлению (стратегия «Reverse»).
- **Участки устойчивого улучшения (Bright Spots):** частота улучшения > 70%. Зоны устойчивого восстановления, где важно изучить и тиражировать успешные практики.
- **Перманентно стабильные земли:** стабильные состояния повторяются в 70% случаев и чаще. Здесь приоритет — меры по предотвращению деградации (стратегии «Avoid» и «Reduce»).
- **Зоны флуктуаций:** все остальные территории - где состояние колеблется вслед за погодными условиями или краткосрочными воздействиями. Приоритетными являются также меры по предотвращению деградации.

Результат: Наложение картографических слоев позволяет создать информативную карту для подбора и расчета необходимой площади приоритетных участков по восстановлению земель в тех или иных регионах (горячие точки), или участков для тиражирования так называемых «хороших практик» землепользования.

Это позволяет сконцентрировать ограниченные ресурсы на четко определенных участках, а не распылять их по всему региону. Пример такого синтеза для Республики Калмыкия, Россия приведен ниже.

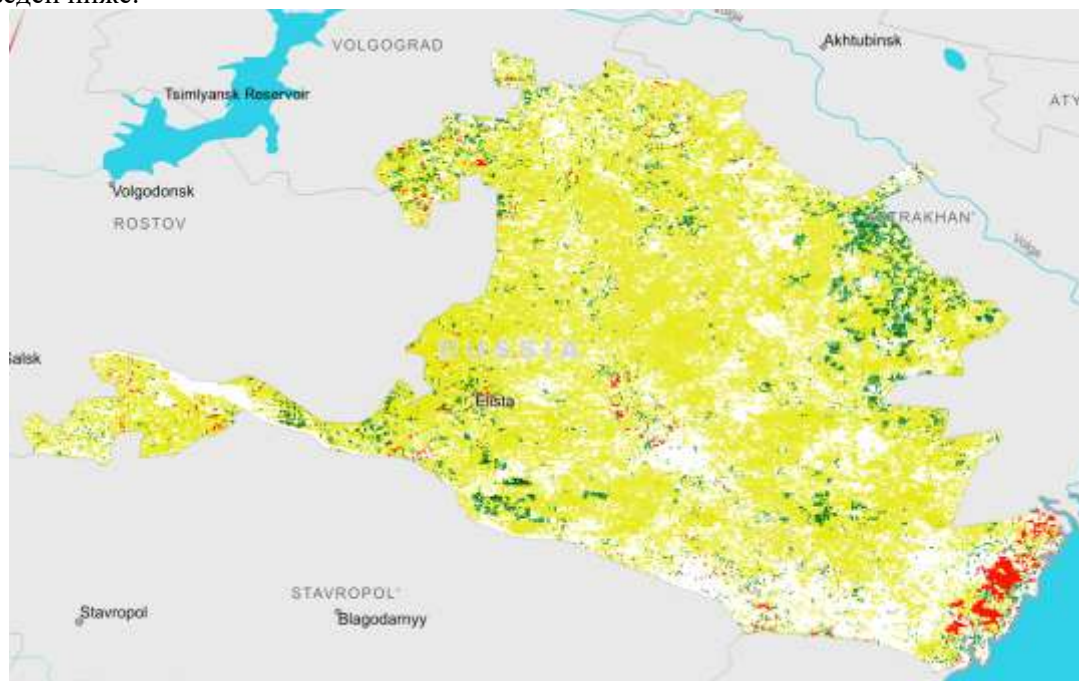


Рисунок 33. Картографический синтез состояний улучшения-стабильности-ухудшения земель с частотой повторяемости более 70% (Республика Калмыкия) [118].

Анализ карт повторяемости трендов позволяет детализировать их практическое применение. В Калмыкии, например, была проведена дальнейшая классификация «горячих точек» по интенсивности (70–80%, 80–90%, 90–100%), что позволило еще точнее ранжировать приоритеты для восстановительных мероприятий. Участки с частотой деградации 90–100% (так называемые «критические горячие точки») относятся к зонам наивысшего приоритета и также выделяются картографическими методами.

Таблица 7. Повторяемость состояний ухудшения-улучшения земель (по интегральному индикатору ЦУР 15.3.1) в Черноземельском районе Республики Калмыкия.

	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Ухудшение земель (доля площади, %)	1.74	8.9	23.3	36.8	21.1	6.1	0.9	0.2	0.1	0.1	0.53
Площадь, кв. км	190.6	979.3	2553.5	4036.0	2317.9	677.3	105.0	25.4	11.0	4.5	57.9
Стабильное состояние (доля, %)	12.8	0.0	0.1	0.7	4.1	11.9	22.6	26.9	15.2	5.1	0.4
Площадь, кв. км	1411.1	0.5	7.1	76.3	453.7	1312.3	2482.4	2943.7	1665.3	557.7	48.3
Улучшение земель (доля площади, %)	46.6	32.2	8.57	1.1	0.8	2.7	3.5	2.5	1.2	0.5	0.1
Площадь, кв. км	5107.1	3538.8	939.0	129.2	92.8	295.91	383.5	273.45	138.5	53.2	6.8

Практическое значение описанного подхода трудно переоценить. Исследования на различных объектах и примерах в Узбекистане, Туркменистане, России показали, что устойчивые очаги деградации занимают относительно небольшую долю территории, но оказывают непропорционально большое влияние на общую динамику. Это означает, что меры по достижению НБДЗ могут быть значительно более эффективными, если они будут направлены на эти локализованные зоны.

Кейс 12: Оцифровка и анализ исторических карт в Голодной степи, Узбекистан/Казахстан [94, 95, 107].

Частным примером использования подхода, близкого к описанному выше, является более ранние сопоставления исторических карт, проводимые рядом исследователей.

Контекст: При планировании масштабных мелиоративных работ в Голодной степи необходимо было понять, почему на одних участках промывка и строительство дренажа дали устойчивый результат, а на других — нет, и соли возвращались вновь.

Применение метода: Были оцифрованы и геопривязаны детальные почвенные карты масштаба 1:100 000, составленные в 1960–1970-х годах (до начала интенсивного орошения на многих участках). Эти карты отражали «природный фон» — исходное состояние почв, включая наличие солей в профиле. Эти исторические карты наложили на современные данные дистанционного зондирования (индексы засоления) и карты продуктивности.

Результат: Анализ выявил зоны «устойчивого» засоления, где соли присутствовали в почвах исторически (на древних морских отложениях), и где любые попытки промывки были заведомо менее эффективны. Это позволило пересмотреть программу мелиорации, направив дорогостоящие работы по химической мелиорации и строительству глубокого дренажа только на те участки, где они могли дать долгосрочный эффект. Для зон устойчивого засоления были предложены альтернативные стратегии: выращивание солеустойчивых культур (например, некоторых сортов хлопчатника, кормовых культур) или консервация с переводом в залежь.

Глава 13. Анализ трендов. Переход от мониторинга к прогнозированию

Появление инструментов анализа временных рядов фактически изменило саму философию оценки деградации земель. Если ранее мониторинг представлял собой серию «снимков состояния», то теперь его можно представить как наблюдение за развитием сложной динамической системы. Это изменение кажется на первый взгляд чисто техническим, однако его результаты носят гораздо более глубокий характер.

Впервые становится возможным рассматривать деградацию земель как процесс, имеющий собственную скорость, ритм и фазовые переходы. Подобный взгляд особенно важен для Центрально-азиатского региона, где природные и социально-экономические процессы переплетаются и формируют сложные нелинейные траектории изменений.

Развитие методов анализа временных рядов естественным образом привело к следующему шагу — попытке заглянуть в будущее. Если деградация земель рассматривается как процесс, имеющий собственную динамику, возникает вопрос: возможно ли предсказать его дальнейшее развитие?

Ещё недавно подобный вопрос казался преждевременным. Система мониторинга находилась на этапе становления, и основной задачей было получение достоверных данных о текущем состоянии земель. Однако накопление временных рядов и развитие аналитических методов сделали прогнозирование не только возможным, но и необходимым.

13.1. Прогнозное моделирование на основе регрессионного анализа

Первым шагом к прогнозированию стало применение регрессионного анализа к временным рядам индикаторов НБДЗ. Этот подход позволяет оценить скорость изменения показателей и экстраполировать выявленные тренды в будущее.

Важность такого подхода трудно переоценить. Он переводит дискуссию о деградации земель из качественной плоскости в количественную. Вместо абстрактных утверждений о возможном ухудшении состояния земель появляется возможность оценить будущие потери в конкретных единицах площади и времени.

Это, в свою очередь, открывает путь к формулированию реалистичных целей НБДЗ. Страны и регионы получают возможность оценить, какие масштабы восстановительных мероприятий необходимы для компенсации прогнозируемых потерь.

Кейс 13: Прогнозирование потерь от деградации в Ики-Бурульском районе, Республика Калмыкия (по материалам отчета ИГРАН, 2025 [118]).

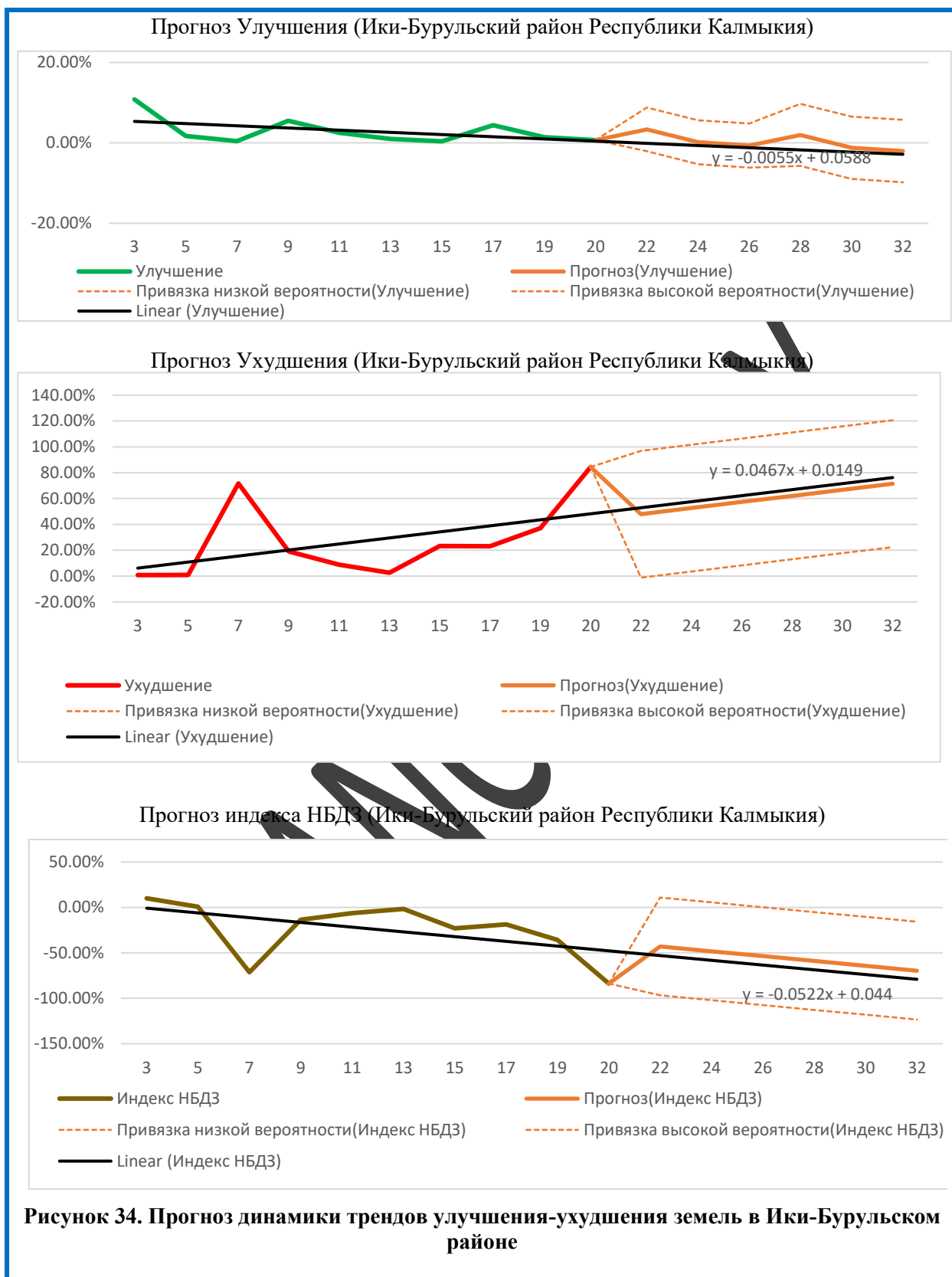
Решаемая проблема: Как перейти от констатации факта деградации к количественному прогнозу будущих потерь для обоснования срочных инвестиций в восстановление? В условиях аридного климата с высокой межгодовой изменчивостью необходимо выделить устойчивый тренд ухудшения на фоне естественных колебаний и выразить его в конкретном числе гектаров, которые будут безвозвратно потеряны для продуктивного использования к целевому горизонту планирования (2030–2032 гг.) при сценарии «сохранения текущих условий» (business-as-usual).

Контекст: Ики-Бурульский район определен в исследовании как пример территории со сценарием «наступления деградации». Анализ динамики за 2001–2022 гг. показал не просто наличие деградации, а ее устойчивый и агрессивный рост. Для планирования мероприятий в рамках региональной программы достижения НБДЗ требовалось ответить на вопрос: сколько именно земель может быть потеряно в районе к 2032 году, если не предпринимать активных мер?

Применение метода: Для наиболее простой количественной оценки используется метод линейной регрессии (анализ трендов), примененный к временному ряду данных о доле деградированных земель (D) за период 2001–2022 гг. Коэффициент регрессии (b), отражающий угол наклона линии тренда, позволяет определить скорость ежегодного прироста деградации в процентах от общей площади. Используя полученный коэффициент, легко сделать общий прогноз абсолютного прироста площади деградированных земель на 10 лет (до 2032 г.). Аналогичные расчеты можно проводить также для других трендов: доли улучшенных земель и Индекса НБДЗ.

Результат: Установлено, что коэффициент $b(D)$ для Ики-Бурульского района составляет +0.047 %/год. Это означает, что доля деградированных земель неуклонно растет с такой скоростью. При площади района около 6 363 км², ежегодный прирост деградированных земель составляет примерно 299 га/год. При сохранении текущего тренда к 2032 году площадь деградированных земель в районе увеличится на 2990 га. С учетом доверительного интервала (показанного на прогнозных графиках, подобных рис. 34) этот диапазон может составлять от 1800 до 4100 га.

Интерпретация: Прогнозируемая потеря около 3000 га продуктивных земель сопоставима с площадью сельскохозяйственного предприятия среднего размера (для условий России). Эта цифра становится ключевым обоснованием для запроса бюджета и планирования фитомелиоративных работ (например, высадки засухоустойчивых кустарников для фиксации песков) в масштабе, способном компенсировать ожидаемые потери (с запасом на неопределенность), что переводит планирование из области общих пожеланий в плоскость конкретных целевых показателей и финансовых расчетов. Помимо этого, такие прогнозы могут служить основой постановки целей достижения НБДЗ на национальном и субнациональном уровнях.



13.2. Анализ динамики трендов для формирования стратегий землепользования.

Традиционные подходы к мониторингу, заложенные в международных методиках, в

условиях региона часто дают искажённые результаты: естественные климатические флуктуации могут ошибочно трактоваться как деградация, тогда как реальное ухудшение состояния земель маскируется, если период сравнения включает благоприятные годы. Это приводит к тому, что стратегии управления либо запаздывают по времени, либо оказываются неадекватными реальным процессам. Например, орошаемые массивы низовьев Амударьи деградируют по сценарию «истощения», требуя одних мер, а пастбища вступают в фазу активного «наступления деградации», требуя совершенно иных, экстренных решений. Для решения этой задачи в [42] предложен метод двойного порога, позволяющий дифференцировать приоритетные стратегии управления НБДЗ с учетом различных сценариев деградации земель в Центральной Азии

Понимание того, *какой именно механизм деградации* запущен на конкретной территории, становится ключом к эффективному использованию ограниченных ресурсов. Представленный ниже кейс на примере велаятов Туркменистана демонстрирует, как углубленный анализ трендов позволяет перейти от унифицированных планов к научно обоснованному портфелю дифференцированных стратегий землепользования.

Кейс 14: Формирование стратегий землепользования на основе анализа трендов деградации в Дашогузском и Лебапском велаятах Туркменистана (по материалам проекта ПРООН-Туркменистан, 2025 [120]).

Решаемая проблема: Как в условиях высокой межгодовой изменчивости аридных экосистем не просто зафиксировать факт деградации, а диагностировать ее скрытые механизмы и выбрать адекватную стратегию управления землями? Использование фиксированных базовых периодов дает противоречивые результаты, не позволяя отличить краткосрочные климатические флуктуации от устойчивых негативных трендов, требующих вмешательства. Необходимо перейти от унифицированных планов к дифференцированным стратегиям, учитывающим специфику развития кризиса на каждой конкретной территории.

Контекст: В пилотных регионах Туркменистана (Дашогузский и Лебапский велаяты), остро подверженных опустыниванию в бассейне Аральского моря, стандартная оценка ЦУР 15.3.1 с разными базовыми периодами давала несопоставимые результаты. Для планирования мероприятий в рамках национальных задач по достижению НБДЗ требовалось понять не только *где* идет деградация, но и *как именно* она протекает, чтобы обоснованно распределять ограниченные ресурсы между экстренным восстановлением и превентивными мерами.

Применение метода: Был применен подход, основанный на использовании динамического базового уровня (медиана за 2001–2022 гг.) и сглаживании краткосрочных колебаний с помощью пятилетнего скользящего среднего. Это позволило очистить данные от климатического «шума». К полученным динамическим рядам был применен регрессионный анализ для расчета двух ключевых коэффициентов:

1. Коэффициент «b» (скорость изменения, %/год), показывающий интенсивность процессов.
2. Коэффициент «a» (расчетное состояние на начало периода), показывающий накопленный потенциал устойчивости или уровень кризиса.

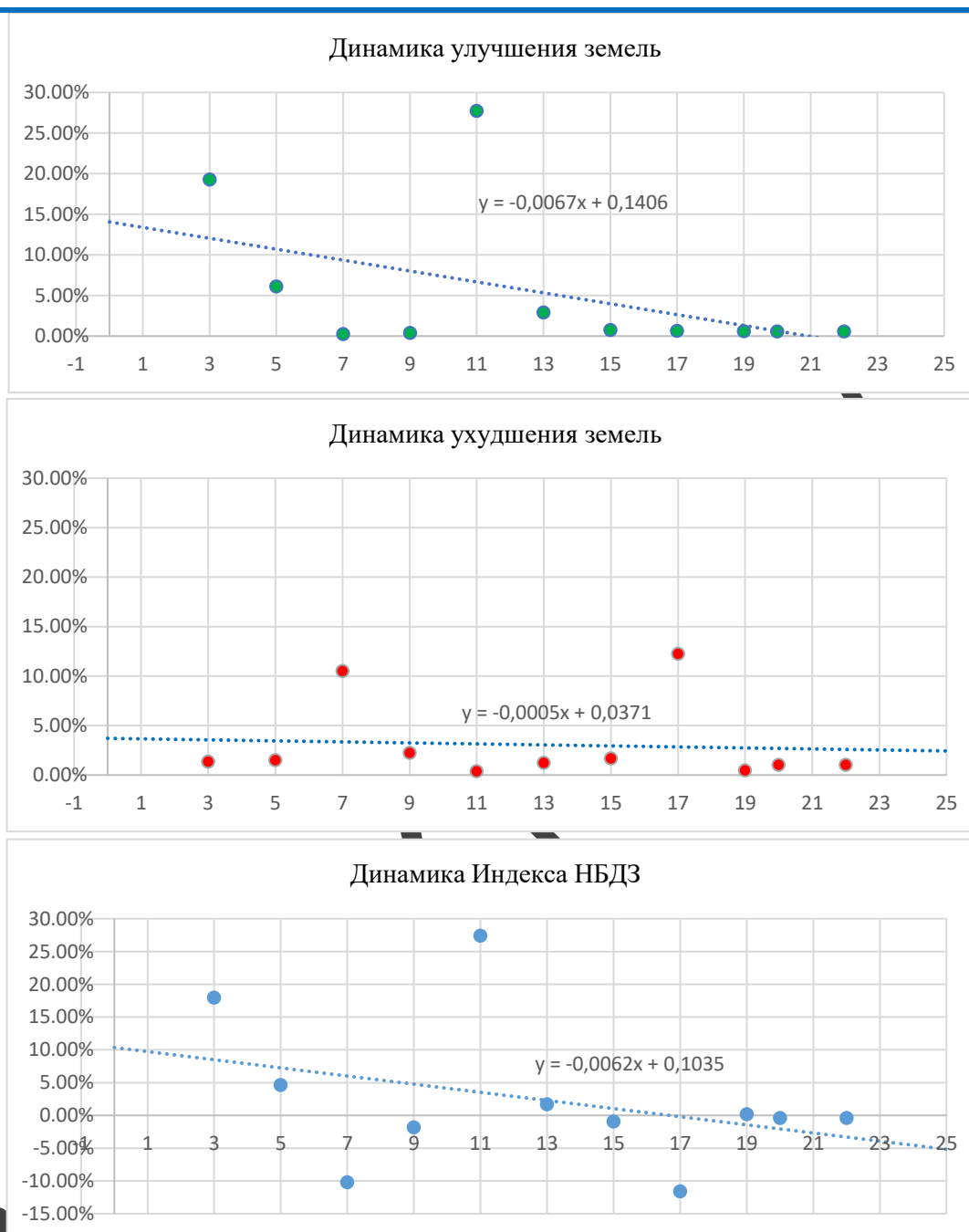


Рисунок 35. Пример анализа динамики трендов улучшения и ухудшения земель с использованием регрессионного анализа (для этрапа Дарганата, Лебап)

Совместный анализ этих коэффициентов для доли деградированных (D) и улучшенных (I) земель позволил диагностировать доминирующий механизм (сценарий) деградации.

Подкейс 14.1: Сценарное моделирование (по материалам проекта ПРООН- Туркменистан, 2025 [120]).

Следующим этапом стало развитие сценарного подхода. Вместо одного прогнозного сценария на основании сочетания коэффициентов можно рассматривать несколько возможных траекторий развития, отражающих различные варианты управления земельными ресурсами.

Сценарный анализ позволяет ответить на ключевой вопрос: как изменится динамика деградации земель при сохранении существующих практик землепользования и как она может измениться при внедрении устойчивых методов. Подобный подход особенно важен для регионов с высокой

неопределённостью будущих климатических условий. Он позволяет учитывать широкий спектр возможных факторов и повышает устойчивость принимаемых решений.

Результат анализа вышеописанных трендов выявил выраженную дифференциацию механизмов деградации на исследуемых территориях, что потребовало принципиально разных стратегий управления:

Сценарий «Наступление деградации» (этрап Данев, Лебап): Здесь зафиксирован наиболее агрессивный тренд Индекса НБДЗ ($b = -0.0181\%/год$), вызванный стремительным расширением площадей деградации ($b(D) = +0.015\%/год$). Исходное состояние ($a = +4.8\%$) было хорошим, но кризис развивается лавинообразно. *Стратегия: кризисное реагирование.*

Сценарий «Истощение» (этрапы Туркменбаши, Дашогуз, Дарганата, Лебап): Негативный тренд Индекса НБДЗ ($b =$ от -0.0112 до $-0.0062\%/год$) формируется преимущественно за счет падения доли улучшающихся земель ($b(I) < 0$) при стагнации деградации. В Туркменбаши ситуация усугубляется крайне плохим исходным состоянием ($a = -5.2\%$). *Стратегия: превентивное укрепление и стабилизация* — инвестиции в поддержание продуктивности еще сохранившихся земель и поэтапная реабилитация.

Комбинированный сценарий (этрап Рухубелент, Дашогуз): Одновременный рост деградации ($b(D) = +0.005\%/год$) и сокращение улучшений ($b(I) = -0.0064\%/год$) указывают на системный сбой. *Стратегия: комплексный план*, сочетающий срочные меры в «горячих точках» и поддержку устойчивости на остальной территории.

Естественная цикличность (заповедник Гаплангыр): Слабый негативный тренд ($b = -0.004\%/год$) при низкой предсказуемости модели ($R^2=0.45$) и крайне низком потенциале улучшений ($a(I)=7\%$) — экосистема существует в хрупком равновесии. *Стратегия: консервация и адаптивное управление*, защита от антропогенной нагрузки, а не затратное восстановление.

Интерпретация: В отличие от простой констатации факта деградации, диагностика механизмов позволила перейти к обоснованному выбору политики. На основе сочетаний коэффициентов 'а' (исходное состояние/потенциал) и 'b' (скорость и направление изменений) выделяются следующие типовые стратегии управления землями в рамках концепции НБДЗ:

1. **Стратегия «Кризисное реагирование».** Характерна для территорий, которые исходно обладали высоким потенциалом ('а' высокий), но перешли в фазу резкого ухудшения ('b' резко отрицательный). Требуется немедленных капиталоемких мер для остановки обвальной деградации.
2. **Стратегия «Превентивное укрепление».** Применяется там, где текущее состояние еще стабильное ('а' высокий), но наблюдается устойчивое, хоть и умеренное ухудшение ('b' умеренно отрицательный). Цель — инвестировать в поддержание устойчивости (водосбережение, почвозащита), чтобы изменить знак тренда.
3. **Стратегия «Стабилизация и поэтапное восстановление».** Необходима на территориях, уже находившихся в кризисе ('а' низкий) и продолжающих ухудшаться ('b' отрицательный). Требуется комбинация срочного подавления активных очагов деградации и долгосрочных программ реабилитации.
4. **Стратегия «Консервация и адаптивное управление».** Подходит для экосистем, адаптировавшихся к экстремальным условиям на низком уровне ('а' низкий) со слабым трендом ('b' слабый). Приоритет — защита от новых антропогенных угроз, а не затратное восстановление до исторических состояний.
5. **Стратегия «Поддержание позитивной динамики».** Применима в случаях, когда исходное состояние было плохим ('а' низкий), но благодаря управлению тренд стал положительным ('b' положительный). Главное — обеспечить долгосрочную поддержку восстановительных процессов.

Практическая ценность: Данный подход позволяет перейти от унифицированных планов к формированию портфеля дифференцированных мероприятий, точно настраивая стратегии устойчивого землепользования под конкретный тип деградационного кризиса.

Глава 14. Использование нейронных сетей и машинного обучения

Развитие методов прогнозирования неизбежно привело к обращению к инструментам машинного обучения. Деградация земель является результатом взаимодействия большого числа факторов — климатических, почвенных, гидрологических и социально-экономических. Традиционные статистические методы не всегда способны учитывать такую сложность.

Использование алгоритмов машинного обучения открывает возможность анализа больших массивов данных и выявления скрытых взаимосвязей между факторами деградации. Это направление пока находится на стадии становления, однако первые результаты демонстрируют его высокий потенциал. Машинное обучение и нейронные сети становятся мощным инструментом для решения задач, где традиционные методы пасуют из-за сложности и нелинейности связей между спектральными характеристиками и состоянием земель.

Модели машинного обучения позволяют выявлять ключевые драйверы деградации, оценивать их относительную значимость и строить более точные прогнозы. В перспективе это может привести к созданию комплексных систем поддержки принятия решений в сфере землепользования.

Кейс 15. Возможности прогнозного моделирования изменений землепользования с использованием иных подходов (Нукусский район, Узбекистан [112]).

Контекст: Линейная регрессия не всегда способна уловить сложные, нелинейные паттерны изменений, особенно когда речь идет о пространственном распределении будущих изменений, а не только об их общей площади. Нужны инструменты, которые могут моделировать пространственную динамику.

Применение метода: Исследователи применили подход CA-ANN (Клеточный автомат – Искусственная нейронная сеть): пространственная модель, реализованная в модуле MOLUSCE для QGIS. Модель также «обучается» на картах изменений за прошлые периоды (2001–2010 и 2010–2022) и, с учетом карт факторов (расстояние до дорог, населенных пунктов и др.), прогнозирует карту землепользования на 2042 год, показывая, где именно с наибольшей вероятностью произойдут изменения.

Результат: Модель указывает на устойчивое сокращение площадей пашни и пастбищ, а также пустынных земель на фоне роста категории «искусственные земли» и предлагает карту «горячих точек» будущих изменений, указав, где именно конфликт между застраиваемыми территориями и сельским хозяйством будет наиболее острым. Вместе с тем, эта модель не учитывает скорости переходов.

Кейс 16. Цифровое картографирование засоления почв в Калмыкии с использованием нейронных сетей (по материалам [100-102]).

Контекст: В Калмыкии, где широко распространены солонцовые комплексы с подповерхностным засолением, традиционные методы картографирования требуют огромных полевых работ и не всегда точны. Линейные модели не справляются с нелинейностью связей.

Применение метода: Используются данные полевых измерений удельной электропроводности (ЕС) и широкий набор спектральных индексов (NDVI, SAVI, EVI, индексы засоления SI и др.) со снимков высокого разрешения SuperView-1 (2 м) для обучения двух моделей: множественной линейной регрессии (MLR) и искусственной нейронной сети (ANN). Цель - предсказать засоление почв по спутниковым данным.

Результат: Нейронная сеть показала значительно более высокую точность прогноза засоления (коэффициент детерминации R^2 до 0,88) по сравнению с линейной регрессией (R^2 до 0,70).

Наилучшими предикторами оказались индексы NDVI_t, TVI, EVI₁ и Int₁. Иначе говоря, нейронные сети способны улавливать сложные нелинейные связи между спектром и засолением, что делает их незаменимыми для создания точных карт на большие территории. Этот опыт может быть масштабирован на орошаемые массивы Узбекистана и Туркменистана.

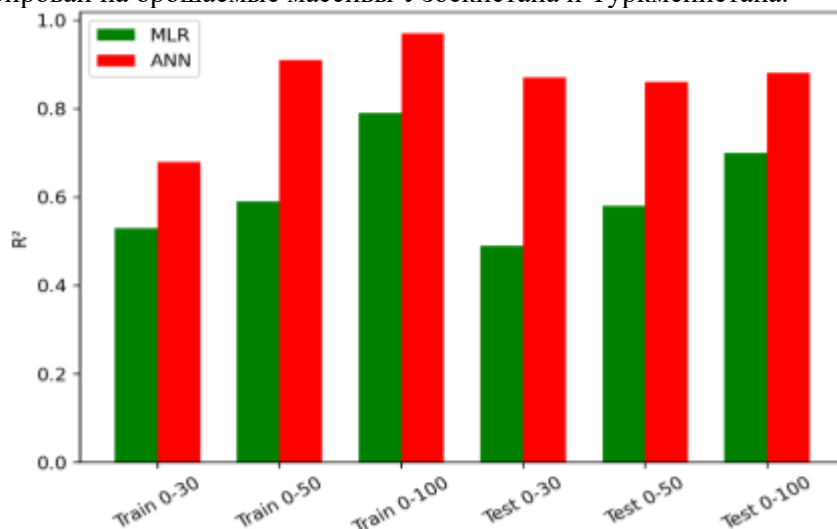


Рисунок 36. Сравнение точности моделей MLR и ANN для прогноза засоления

Кейс 17: Уточнение динамики наземного покрова на локальном уровне с использованием нейронных сетей (Приэльтонье, Волгоградская область, Россия) [108].

Решаемая проблема: Как перейти от глобальных обобщенных оценок деградации к точной и достоверной картине на локальном уровне, необходимой для планирования конкретных мероприятий по достижению НБДЗ? Стандартный подход Trends.Earth, основанный на данных с разрешением 300 м и ограниченным набором классов земель, не способен уловить сложную мозаичность земель, разнонаправленные процессы восстановления (на залежах) и деградации (на пастбищах) и, следовательно, дает искаженное представление о реальном балансе. Требуется метод, который позволит достоверно оценить, какие именно процессы (деградация или улучшение) преобладают на местности с высокой пространственной неоднородностью.

Контекст: Территория представляет собой мозаику из залежей, пастбищ с разной степенью нагрузки, богарных пашен и солончаков. Предыдущие исследования показали, что глобальные продукты (Trends.Earth) некорректно интерпретируют динамику на такой территории, часто скрывая важные локальные процессы (например, восстановление степной растительности на залежах маскируется общей категорией «травянистые сообщества»). Для корректной отчетности по индикатору 15.3.1 ЦУР и планирования пастбищеоборотов необходима методика, работающая на уровне конкретных полей и пастбищных участков.

Применение метода: В качестве основного инструмента использованы самоорганизующиеся нейронные сети Кохонена (реализованные в ПО ScanEx Image Processor), примененные к анализу серии разновременных снимков Landsat (разрешение 30 м) за 2004 и 2014 годы.

Стандартный подход модифицируется следующим образом:

1. **Детализация:** вместо 7 классов используется расширенная классификация, адаптированная под локальные условия (выделены подклассы пастбищ: условно недеградированные, слабо-, умеренно- и сильнодеградированные, а также отдельно — растительность мелких западин и солончаки).
2. **Анализ переходов:** с помощью модуля Change Detection (SAGA GIS) проанализирована матрица переходов не между 7, а между 12+ классами, что позволило проследить судьбу каждого пикселя (например, переход "пашня -> слабодеградированное пастбище" или "сильнодеградированное пастбище -> умеренно деградированное").
3. **Валидация:** результаты классификации были сопоставлены с данными наземных обследований на ключевых участках, заложенных по градиенту пастбищной нагрузки.



1 - Водные объекты, 2 - Солончаки, 3 - Растительность потяжин и замкнутых лиманных понижений, 4 - Сильно деградированные пастбища, 5 - Умеренно деградированные пастбища, 6 - Слабо деградированные пастбища, 7 - Не деградированные пастбища, 10 – Пашня

Рисунок 37. Гистограмма типов изменений наземного покрова.

Результат: Применение нейросетевого анализа с расширенной классификацией коренным образом изменило оценку динамики земельного покрова по сравнению со стандартным методом Trends.Earth:

- **Повышение точности:** Стандартный подход фиксировал изменения лишь на 27,5% территории (24,6% деградация, 2,9% улучшение). Уточненный метод показал, что изменения затронули 54% территории, при этом структура баланса стала иной: деградация выявлена на 40,6% , а улучшение — на 13,4% площади.
- **Выявление скрытых процессов:** Удалось количественно разделить разнонаправленные тренды. Основные изменения связаны с выводом пашни из оборота и ее переходу в пастбища. Параллельно на самих пастбищах зафиксировано восстановление: доля сильнодеградированных участков снизилась с 5,3% до 2,6% за счет перераспределения нагрузки на новые залежные массивы.

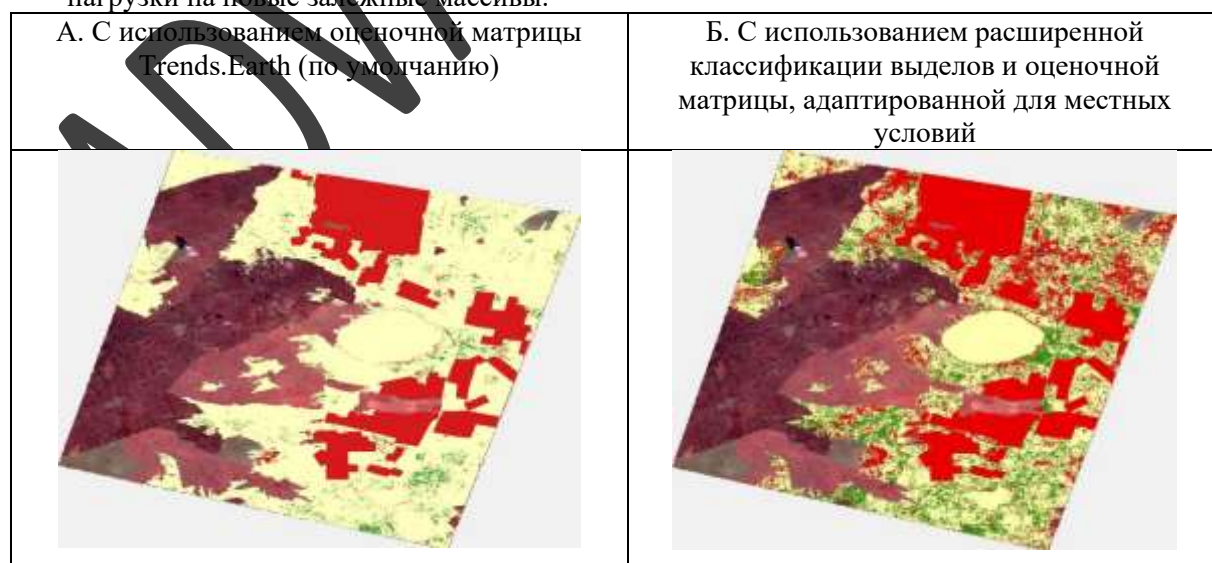


Рисунок 38. Оценка деградации наземного покрова тестового полигона с использованием разных классификаций и оценочных матриц (коричневым цветом отображена маска степных пожаров разных лет, исключенная из рассмотрения).

Интерпретация для управления: Результат показал, что формальная оценка "деградации" по базовой методологии на 40% площади скрывает за собой сложный процесс пост-агрогенной трансформации (зарастания залежей). Для целей управления это означает, что "красная" зона на карте НБДЗ требует не только борьбы с опустыниванием, но и мер по регулированию пастбищной нагрузки на новых землях, чтобы закрепить положительный тренд восстановления и не допустить вторичной деградации. Предложенный подход позволяет выявлять такие нюансы и давать более взвешенные рекомендации, чем с применением данных по умолчанию.

Глава 15. Переосмысление классификации наземного покрова: модификация матриц переходов

Одной из важных проблем применения глобальной методологии НБДЗ в странах Центральной Азии стало несоответствие глобальной классификации наземного покрова региональным условиям. Глобальные классификации создавались с целью обеспечения сопоставимости данных на мировом уровне. Однако при детальном анализе они оказываются слишком обобщёнными.

При описании предыдущего кейса было показано как модификация матриц переходов классов земель может влиять на результаты оценки деградации земель. Данный аспект, наряду с вопросами формирования базовой линии и выбора индикаторов, относится к числу значимых при применении методологии НБДЗ на национальном и субнациональном уровнях в центральноазиатском регионе. Это связано с тем, что стандартные наборы классов, используемые в базовых инструментах КБО, имеют универсальный характер и могут не в полной мере учитывать региональную специфику природных и хозяйственных систем. В этой связи целесообразно уделить внимание формированию адаптированных матриц переходов классов земель с учетом как ландшафтного разнообразия (леса, пастбища, пашня, пустынные территории и др.), так и различий в характере землепользования (сельское и лесное хозяйство, особо охраняемые природные территории, земли промышленности и иные категории). В постсоветских странах как результат исторических, социально-экономических и природно-климатических взаимосвязей, сформировалась уникальная структура землепользования, включающая такие категории, как заброшенные пашни, деградированные пастбища и вторично засоленные земли. Эти категории играют ключевую роль в динамике деградации, но не всегда корректно отражаются в глобальных классификациях. Разработка расширенных региональных классификаций стала важным шагом к повышению точности оценки. Она позволяет учитывать особенности землепользования и улучшить интерпретацию результатов мониторинга.

Кейс 18: Адаптация матрицы переходов для орошаемых земель и пастбищ Узбекистана (с калибровкой знака), государственная программа «Яшил Макон» [109] (по материалам проекта ПРООН-Узбекистан, 2025 [120]).

Решаемая проблема: Глобальная матрица переходов, заложенная в Trends.Earth, неадекватно интерпретирует критически важные для региона процессы изменения классов наземного покрова (например, «пашня → залежь», «саксаульник → пастбище»), что ведет к систематическим ошибкам в оценке деградации.

Контекст: Переход «Орошаемая пашня → Залежь» в глобальной матрице часто интерпретируется как нейтральный или даже положительный (рост трав на залежи). В реальности же в центральноазиатском регионе это часто результат необратимого вторичного засоления и потери продуктивных земель — это признак безусловной деградации.

Применение метода: Национальная экспертная группа (почвоведы, агрономы, специалисты по землеустройству) переопределила знак этого перехода как «Отрицательный» для всех случаев, подтвержденных данными о засолении (спектральные индексы, исторические карты). Для другого сложного перехода — «Саксаульник (лес) → Эфемеровая пустыня (травянистые)» — были введены уточняющие условия, требующие верификации:

- Если разреживание вызвано рубками и перевыпасом — Отрицательный.
- Если это результат естественной гибели старых саксаульников в засушливый период в пределах естественного цикла — Нейтральный (временная флуктуация).

Результат: Применение калиброванной матрицы позволило корректно отнести площади «необратимо потерянных» орошаемых земель к категории деградированных, что изменило приоритеты государственной программы «Яшил Макон», направив ресурсы не только на озеленение, но и на мелиорацию и расследование причин выбытия земель.

Кейс 19: Адаптация матрицы переходов от глобальных классов к местным типам орошаемых земель и пастбищ в низовьях Амударьи (детализация для районного и локального уровня), по материалам проектов ПРООН-Туркменистан, 2025 и ПРООН-Узбекистан, 2025 [120, 121].

Решаемая проблема: Как адаптировать глобальную методологию оценки НБДЗ для получения надежных результатов на районном и местном уровне в условиях аридной зоны? Использование стандартных глобальных классификаций наземного покрова и матриц переходов в Узбекистане и Туркменистане приводит к критическим ошибкам интерпретации. Процессы «ложного озеленения» (зарастание полей сарсазаном на солончаках или закустаривание пастбищ низкорослыми видами) автоматически классифицируются как «улучшение» по спутниковым индексам, хотя на деле являются признаком деградации — потери хозяйственной ценности и засоления. Возникает необходимость в «переводчике» с глобального языка на местный, который позволит точно диагностировать деградацию для планирования мер по ее предотвращению.

Контекст: В рамках проектов ПРООН в Узбекистане и аналогичных инициатив в Туркменистане, была решена задача не просто оценить состояние земель, а дать конкретные рекомендации по управлению. Пилотные районы в низовьях Амударьи характеризуются высокой мозаичностью земель — здесь соседствуют орошаемые поля, тугайные леса, пустынные пастбища и высыхающие озера. Стандартный набор классов «лес», «пастбище», «пашня» оказался слишком грубым. Он не позволял отследить критически важные переходы: например, смену ценного кормового саксаула на малопродуктивные солянки или переход орошаемой пашни в категорию «солончак голый».

Применение метода (Адаптация матриц переходов): Для решения проблемы была проведена калибровка методологии НБДЗ, включающая два этапа.

1. **Детализация классификации наземного покрова:** Вместо общих классов, экспертами проекта разработаны иерархические классификации, учитывающие экономическую ценность и экологические функции угодий. Например:
 - **Для пастбищ:** класс «Кустарниковые пастбища» был разделен на подтипы: *Саксаул, Тамарикс, Переходные саксаулово-тамариковые*. Класс «Солянковые пастбища» — на *Ажрек, Акбаш, Сарсазан и Однолетние солянки*.
 - **Для орошаемых земель:** была введена градация не только по использованию («пашня орошаемая/заброшенная»), но и по состоянию: *«пашня орошаемая без признаков*

засоления», «пашня орошаемая с признаками засоления», а для заброшенных земель — «кустарниковые массивы на солончаках», «голые солончаки», «голые пески».

2. **Разработка региональных матриц переходов:** Для этих детализированных списков были составлены адаптированные матрицы переходов, где каждому переходу между подтипами присвоен статус: «улучшение», «стабильно» или «деградация». Статус определялся экспертно, исходя из хозяйственной ценности. Например, переход от «пашни орошаемой без признаков засоления» к «заброшенной пашне с кустарниками на солончаках» однозначно классифицируется как деградация, даже если спутниковый индекс NDVI при этом вырос (сарсазан дал «зелень»). И наоборот, переход от «голового солончака» к «саксаульнику» на пастбище считается улучшением.

Таблица 8. Оценочная таблица для оценки динамики наземного покрова пастбищ на уровне пастбищных массивов (с добавлением показателей видового состава).

Класс пастбищ ИЗ↓	Класс пастбищ В →	Кустарни- ковые			Полукустарниково- травянистые					Солянковые				
		1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Кустарнико- вые	1. Саксаул	=	-	-	+	-	=	-	-					
	2. Саксаул+Тамарикс	+	=	-	+	+	+	-	-					
	3. Тамарикс	+	+	=	+	+	+	=	-					
Полукустар- никово- травянистые	1. Терескен	-	-	-	=	-	-	-	-					
	2. Кейреук	+	-	-	+	=	+	-	-					
	3. Полынь	=	-	-	+	-	=	-	-					
	4. Дереза	+	+	=	+	+	+	=	-					
	5. Карабарак	+	+	+	+	+	+	+	=					
Солянковые	1. Однолетние солянки	+			+					=	=	-	-	-
	2. Ажрек									=	=	-	-	-
	3. Лебеда (Atriplex)									+	+	=	-	-
	4. Акбаш									+	+	+	=	-
	5. Сарсазан									+	+	+	+	=

Таблица 9. Оценочная таблица для оценки динамики наземного покрова лесных территорий.

Класс бонитета В →	I	II	III	IV	V	Нет лесной растительности
ИЗ↓						
I						
II						
III						
IV						
V						
Нет лесной растительности						

Результат: В результате адаптации был создан рабочий инструмент для районного и местного уровня.

- **Для пастбищ:** Удалось картографировать не просто «деградацию», а ее конкретные проявления. Например, в Муйнакском районе Каракалпакстана, где по глобальным данным фиксировались зоны «стресса», адаптированная матрица показала, что на площади около 1500 км² происходит процесс смены саксаульников на малопродуктивные акбаш и сарсазан (галофитизация). Это позволило перевести проблему из разряда «нестабильность» в конкретную цель для пастбищных планов: восстановление кормовой ценности путем рассоления почв и подсева терескена.

- **Для орошаемых земель:** Обновленная матрица переходов позволила количественно оценить риски. В зоне влияния проектов ИУВР (интегрированного управления водными ресурсами) в Амударьинском районе Каракалпакстана было установлено, что как минимум 12% земель, числящихся как «орошаемые», по факту находятся в переходной стадии к «заброшенным с признаками засоления». Прогноз, основанный на этих матрицах, показал, что без улучшения дренажа и водосбережения, к 2030 году эти земли перейдут в категорию «голые солончаки», безвозвратно потерянные для сельского хозяйства.

Интерпретация: Адаптированные матрицы переходов можно назвать тем самым «светофором», который точно показывает, где земли действительно улучшаются (зеленый), где стабильны (желтый), а где деградируют (красный), игнорируя «ложное позеленение». Это переводит управление землями из плоскости общих концепций в плоскость точных хозяйственных решений: инвесторы и фермеры теперь имеют инструмент, помогающий понять, что зарастание поля в данном случае — это не восстановление экосистемы, а прямая потеря пахотных земель, требующая срочной рекультивации.

Глава 16. Использование дистанционных данных высокого разрешения и современных методов их дешифрирования и интерпретации результатов

Выше уже были затронуты вопросы эффективности использования материалов более высокого разрешения, чем те, которые использовались до настоящего времени в методологии Trends.Earth. Использование данных более высокого разрешения позволяет выявлять локальные изменения, которые остаются незаметными при использовании глобальных наборов данных. Это особенно важно для субнационального уровня, где принимаются конкретные управленческие решения. Низкое пространственное разрешение не позволяет выявить мелкоконтурность оазисных ландшафтов, пятнистость пастбищ и очаговый характер деградации. Усреднение спектральных характеристик в пределах пикселя может ограничивать способность алгоритмов дистанционного зондирования дифференцировать принципиально разные типы поверхностей (например, корковый солончак и закрепленный песок), что ведет к неверной классификации [113, 116].

Появление спутниковых данных высокого разрешения открыло новые возможности для анализа пространственной структуры процессов деградации земель. Интеграция спутниковых данных с полевыми наблюдениями стала важным шагом к повышению достоверности оценок. Она позволяет не только выявлять изменения, но и проверять их интерпретацию [75, 114, 115].

В этой главе, не ставя задачи всеохватного обзора имеющихся к настоящему времени разработок, рассмотрены наиболее интересные из них и представлены в виде кратких кейсов. На конкретных примерах из пяти стран Центральной Азии и сопредельных регионов с близкими природными условиями показано, как эти новые методы и данные позволяют решать ключевые задачи оценки НБДЗ.

Кейс 20: Интеграция радарных и оптических данных с машинным обучением для картографирования засоления орошаемых земель (Синьцзян, Китай — модель для Центральной Азии) [43].

Решаемая проблема: Вторичное засоление — главная угроза продуктивности орошаемых земель в Узбекистане, Туркменистане и Казахстане. Однако традиционные методы оценки засоления по спутниковым данным затруднены под растительным покровом (явление «зеленой деградации»). Необходимы методы, позволяющие «видеть» соли под пологом культурных растений.

Контекст: Синьцзян-Уйгурский автономный район Китая по своим почвенно-климатическим условиям и агротехнике практически идентичен орошаемому массиву Ферганской долины, Голодной степи и низовьев Амударьи.

Применяемые методы: Восьмой сельскохозяйственный дивизион Синьцзяна был выбран в качестве модельной территории. В сочетании с отбором почвенных образцов в условиях высокого проективного покрытия растительностью использованы три типа предикторов [43]:

- Радарная информация (Sentinel-1): поляризационные индексы, чувствительные к структуре поверхности и влажности.
- Мультиспектральная информация (Sentinel-2): вегетационные индексы и спектральные каналы.
- Переменные окружающей среды: топографические факторы (высота, уклон) и температура земной поверхности.

Было сформировано четыре набора данных (A, B, C, D) с различными комбинациями этих переменных и применены три алгоритма машинного обучения: AdaBoost, градиентный бустинг (GBRT) и XGBoost.

Результат: Наилучшие результаты по картографированию засоления показала модель D-XGBoost, объединяющая все три типа данных (радарные, оптические и наземные экологические). На валидационной выборке она достигла $R^2 = 0.72$, $RMSE = 2.40 \text{ г/кг}$ [43]. Модели, включавшие топографические факторы, показали более высокую точность, чем модели только на спектральных индексах. Особенно высокая корреляция оказалась между засолением и высотой местности ($r = 0.52$).

Вывод для региона: Интеграция радарных данных (Sentinel-1) с мультиспектральными (Sentinel-2) и топографическими переменными позволяет эффективно картографировать засоление даже под растительным покровом, что критически важно для раннего выявления «зеленой деградации» на орошаемых землях Центральной Азии.

Кейс 21: Комплексный мониторинг сельскохозяйственных земель Приаралья с использованием индексов Landsat (Казахстан) [1].

Решаемая проблема: Деградация орошаемых земель в казахстанской части Приаралья (Кызылординская область) носит комплексный характер, сочетая снижение продуктивности, ухудшение водообеспеченности и засоление почв. Для разработки стратегий адаптации необходим одновременный мониторинг всех этих параметров.

Контекст: Казалинский район Кызылординской области — территория, непосредственно прилегающая к Аральскому морю и испытывающая на себе все последствия экологического кризиса.

Применяемые методы: Использованы временные снимки Landsat-8 за период 2014–2023 гг. и три ключевых спектральных индекса [1]: NDVI (Нормализованный разностный вегетационный индекс) — для анализа динамики развития сельскохозяйственных культур и оценки продуктивности; NDWI (Нормализованный разностный водный индекс) — для оценки влагообеспеченности территории; NDSI (Нормализованный разностный индекс засоления) — для картографирования степени засоления почвенного покрова.

Обработка данных велась в среде EOSDA Land Viewer и QGIS с построением серии тематических карт за 10-летний период.

Результат: Были созданы детальные карты, показывающие пространственно-временную динамику всех трех процессов. Это позволило выявить участки, где снижение NDVI коррелирует с ростом NDSI, однозначно указывая на засоление как причину деградации, и участки, где

падение NDVI связано с уменьшением NDWI (недостаток влаги). Полученные карты дают возможность ранжировать территории по приоритетности мелиоративных вмешательств и служат основой для разработки адаптационных стратегий в условиях продолжающегося усыхания Арала. Работа продемонстрировала эффективность совместного использования трех индексов на базе снимков среднего разрешения (Landsat) для оперативного мониторинга сложных процессов деградации в регионе.

Кейс 22: Картографирование рисков водной эрозии с использованием модели RUSLE и полевой валидации (Узбекистан) [24].

Решаемая проблема: В предгорных и горных районах водная эрозия почв является одним из главных деградационных процессов, угрожающих продуктивности богарных земель и пастбищ. Необходима количественная оценка рисков и выявление критических зон («горячих точек»).

Контекст: Исследование проводилось в Угам-Чаткальском национальном парке, где сочетание горного рельефа, интенсивного землепользования и перевыпаса создает высокие риски эрозии.

Применяемые методы: Использовалась модель RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) — пересмотренное универсальное уравнение потерь почвы, интегрированное в ГИС-среду. Модель учитывает пять ключевых факторов: эрозионную опасность дождей, эродируемость почв, длину и крутизну склона, растительный покров и практики землепользования. Для калибровки и верификации модели использовались данные полевых обследований (геопривязанные точки с описанием эрозионных форм). Валидация модели проводилась путем совместных полевых выездов специалистов из Министерства по чрезвычайным ситуациям, Узгидромета и Агентства лесного хозяйства.

Результат: Были идентифицированы критические «горячие точки» эрозии, где прогнозируемые потери почвы превышают допустимые значения. Полевая валидация позволила откалибровать модель, повысив точность прогнозов, и подтвердила наличие активных эрозионных процессов (промоины, смыв) на участках, определенных моделью как высокорисковые. Результаты картографирования были использованы для разработки рекомендаций по противоэрозионным мероприятиям, включая террасирование склонов и регулирование выпаса.

Кейс 23: Комплексный анализ и прогнозирование процессов опустынивания с использованием архива спутниковых данных (Казахстан и Центральная Азия) [43].

Решаемая проблема: Необходимость создания долговременных, сопоставимых рядов данных для анализа трендов опустынивания на всей территории Центральной Азии и прогнозирования дальнейшего развития процессов.

Контекст: Казахстанско-Китайская совместная лаборатория «Технология и применение дистанционного зондирования» при КазНУ им. аль-Фараби занимается комплексным изучением климатических и экологических изменений в регионе. Одновременно китайские коллеги разработали специализированный набор данных по индексам опустынивания для всей Центральной Азии за 40-летний период [43].

Применяемые методы: На основе данных AVHRR GIMMS-3G+, GLASS и ESA CCI Land Cover за 1982–2020 гг. был рассчитан индекс различия опустынивания (DDI) в рамках концепции пространства признаков «альбедо-NDVI». Индекс DDI позволяет не только оценить текущее состояние, но и классифицировать земли по степени опустынивания (от незначительной до крайне тяжелой). Валидация индекса проводилась по снимкам Google Earth высокого разрешения и данным ESA CCI, общая точность составила 81.33% (каппа 76.60%).

Результат: Создан уникальный и открытый набор данных (<https://doi.org/10.57760/sciencedb.j00001.00975>), содержащий ежегодные растры альбедо, NDVI и DDI за 39 лет. Это дает возможность любому исследователю или управленцу в регионе анализировать долгосрочные тренды опустынивания без необходимости первичной обработки огромных массивов данных. Анализ показал, что DDI демонстрирует значимый отрицательный тренд на деградированных территориях с 1992 по 2020 год, что подтверждает усиление процессов опустынивания в регионе.

Кейс 24: Инновационный подход к классификации степени закрепления песков на основе интеграции радарной когерентности и оптических индексов (Калмыкия, Россия) (по материалам проекта Банка Сбер, 2025 [122]).

Решаемая проблема: Территории со сглаженной надземной фитомассой, устойчивые к дефляции, сложно отличимы от открытых песков по данным вегетационных индексов. Особенно важно выделение слабозаросших песков, которые могут со временем переходить как в открытые, так и в заросшие, являясь критической зоной для прогнозирования динамики деградации. Однако их определение наиболее сложно, так как оптические характеристики слабо отличимы от заросших песков [117].

Контекст: Исследование проводилось в пустынной зоне Калмыкии (Яшкульский, Юстинский, Лаганский и Черноземельский районы), где преобладают травянистые сообщества, и остро стоит проблема деградации пастбищ и опустынивания. За период с 1984 по 2020 гг. площади, подверженные опустыниванию, увеличились практически в 4 раза, с 750 до 3000 тыс. га [116].

Применяемые методы: Разработан инновационный подход, добавив к традиционным вегетационным индексам параметр интерферометрической когерентности, рассчитанный по радарным снимкам Sentinel-1. Логика метода основана на физических свойствах поверхности: на открытых и слабозаросших песках когерентность низкая вследствие механической изменчивости песчаной поверхности под воздействием ветра и осадков; на заросших песках когерентность высокая, так как почва, связанная корневой системой травянистых растений, не изменяется значительно.

Для классификации использовалось признаковое пространство из 4 элементов:

1. Средняя когерентность (по 4-6 парам радиолокационных снимков за 2-3 месяца) — ключевой элемент.
2. SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) [21] — минимизирует влияние яркости почвы.
3. LAI (Leaf Area Index) [27] — эффективен в областях с густой растительностью.
4. Коротковолновое альbedo — суммарная отражательная способность в видимом диапазоне.

Разметка точек на основе относительных значений элементов признакового пространства (по 135 в каждом классе) позволила выделить 5 типов поверхности по сочетанию элементов: солончаки, открытые пески, слабозаросшие пески, заросшие пески, густая растительность.

Результат: Метод позволил впервые надежно разделить слабозаросшие и заросшие пески, которые по оптическим индексам были практически неразличимы. Солончаки, оптически схожие с открытыми песками, кардинально отличаются по когерентности (высокая против низкой), что позволяет их безошибочно классифицировать. Густая растительность (кустарники), непрозрачная для радарного сигнала в С-диапазоне, имеет низкую когерентность (как пески), но отличается по оптическим индексам (высокие SAVI/LAI, низкое альbedo).

Значение для региона: Данный подход, комбинирующий радарную когерентность и оптические индексы, имеет колоссальный потенциал для мониторинга пустынных пастбищ Туркменистана, Узбекистана и Казахстана, где проблема различения типов песков и солончаков стоит не менее остро. Это критически важно для планирования фитомелиоративных работ и прогнозирования деградации.

Кейс 25: Картографирование и анализ сезонной динамики площадей опустынивания в Северном Дагестане на основе месячных композитов Sentinel-2 [113].

Решаемая проблема: Необходимость оперативного и детального картографирования площадей, подверженных опустыниванию, с учетом их сезонной динамики. Традиционные методы часто дают статичную картину, не отражая внутригодовых изменений, критически важных для понимания процессов дефляции и зарастания.

Контекст: Север Дагестана (Ногайская степь, Кизлярские пастбища, Терско-Кумская низменность) является одним из наиболее аридных и подверженных опустыниванию регионов европейской части России. Здесь широко распространены открытые и слабозакрепленные пески, пастбищная деградация и засоление.

Применяемые методы: Методика основана на использовании помесечных безоблачных композитов спутниковых снимков Sentinel-2 за 2022–2023 гг., построенных по медианным

значениям пикселей, и включает следующие этапы:

1. Создание обучающей выборки на основе визуального дешифрирования снимков сверхвысокого разрешения и данных полевых выездов (было создано около 2000 эталонных полигонов, представляющих различные типы подстилающей поверхности (открытые пески, слабозаросшие пески, заросшие пески, солончаки, пашни, водная поверхность и др.)).
2. Машинное обучение: Для классификации всей территории по 10-метровым композитам использовался алгоритм Random Forest, обученный на спектральных сигнатурах эталонов.
3. Анализ сезонной динамики: Создание серии классификаций для разных месяцев позволило оценить, как меняются площади открытых песков в течение года (например, увеличение в ранневесенний период из-за стравливания растительности скотом или уменьшение в период активной вегетации эфемеров).

Результат: Созданы детальные карты сезонной динамики опустынивания с разрешением 10 м, позволяющие отслеживать изменения площади открытых песков с точностью, недоступной для глобальных продуктов. Выявлены ключевые закономерности: площади открытых песков достигают максимума ранней весной (апрель), после периода максимальной пастбищной нагрузки, и минимума — в середине лета (июль), когда развиваются эфемеры и эфемероиды. Метод позволил надежно разделить коренные пески (участки с устойчивым отсутствием растительности) и сезонно-динамичные, что критически важно для планирования фитомелиоративных работ (первые требуют активного вмешательства, вторые — регулирования выпаса).

Значение для региона: Данный подход может быть напрямую адаптирован для мониторинга пустынных пастбищ Туркменистана, Узбекистана и Казахстана. Месячные композиты Sentinel-2 позволяют не только создавать детальные карты, но и анализировать сезонную динамику, выявляя периоды наибольшей уязвимости земель и оценивая эффективность мер по регулированию выпаса. Дополнительные возможности применения Sentinel-2 для оценки эвапотранспирации и мониторинга орошения представлены в [73].

Выводы.

Представленные кейсы убедительно демонстрируют, что переход на данные более высокого разрешения и внедрение передовых методов анализа открывают новые горизонты для оценки НБДЗ в пяти странах Центральной Азии:

- **Машинное обучение и интеграция разнородных данных становятся стандартом:** Методы градиентного бустинга (XGBoost) и случайного леса (Random Forest) показывают наилучшие результаты при моделировании засоления, классификации ландшафтов и картографировании опустынивания, особенно при объединении оптических, радарных данных и топографических переменных. При этом полученные результаты требуют экспертной интерпретации, полевой проверки и тщательного документирования обучающих данных.
- **Необходимость мультииндексного подхода подтверждена практикой:** Использование только одного вегетационного индекса недостаточно. Кейсы из Казахстана и Туркменистана демонстрируют эффективность совместного применения NDVI, NDSI и NDWI, а также сочетания альбедо, вегетационных индексов и спектрального смешивания.
- **Радарная съемка (SAR) и анализ когерентности решают задачи, непосильные для оптики:** Когерентность SAR является уникальным и мощным дескриптором для разделения типов поверхности (пески разной степени закрепления, солончаки) и

мониторинга их динамики. Добавление когерентности позволяет решить проблему различия слабозаросших и заросших песков, а также корковых солончаков, что критически важно для пустынных зон Центральной Азии.

- **Сезонный анализ и создание временных композитов повышают точность:** Использование месячных безоблачных композитов Sentinel-2 и анализ сезонной динамики позволяют не только создавать более точные карты, но и выявлять критические периоды уязвимости земель, что необходимо для адаптивного управления пастбищами.
- **Полевая валидация и долговременные ряды данных остаются критически важными:** Даже самые сложные модели требуют «наземной правды» для повышения точности, а долговременные ряды (40 лет) позволяют выявить реальные тренды деградации на фоне климатических флуктуаций.
- **Создание открытых долговременных наборов данных расширяет возможности мониторинга:** 40-летний архив DDI для Центральной Азии предоставляет региону готовый инструмент для анализа трендов и прогнозирования, что критически важно для трансграничных проблем, таких как опустынивание.

Эти методы и подходы, уже апробированные в сходных природных условиях, могут быть с успехом адаптированы и масштабированы для создания национальных систем мониторинга НБДЗ в Казахстане, Кыргызстане, Таджикистане, Туркменистане и Узбекистане, обеспечивая переход от усредненных глобальных оценок к точным, локально-релевантным решениям.

Глава 17. Индикаторы деградации земель и уровни их применимости

Глобальная методология оценки НБДЗ предлагает только общую схему алгоритма оценки, при которой на основе рассмотрения национальных показателей они могут быть адаптированы для оценки как индикаторы-аналоги (верификация или дополнение индикаторов динамики продуктивности земель, наземного покрова или запасов почвенного органического углерода) или в качестве дополнительных индикаторов. Адаптация алгоритма оценки необходима в первую очередь для стран, имеющих значительную территорию с резко выраженными различиями в природных и социально-экономических условиях [31].



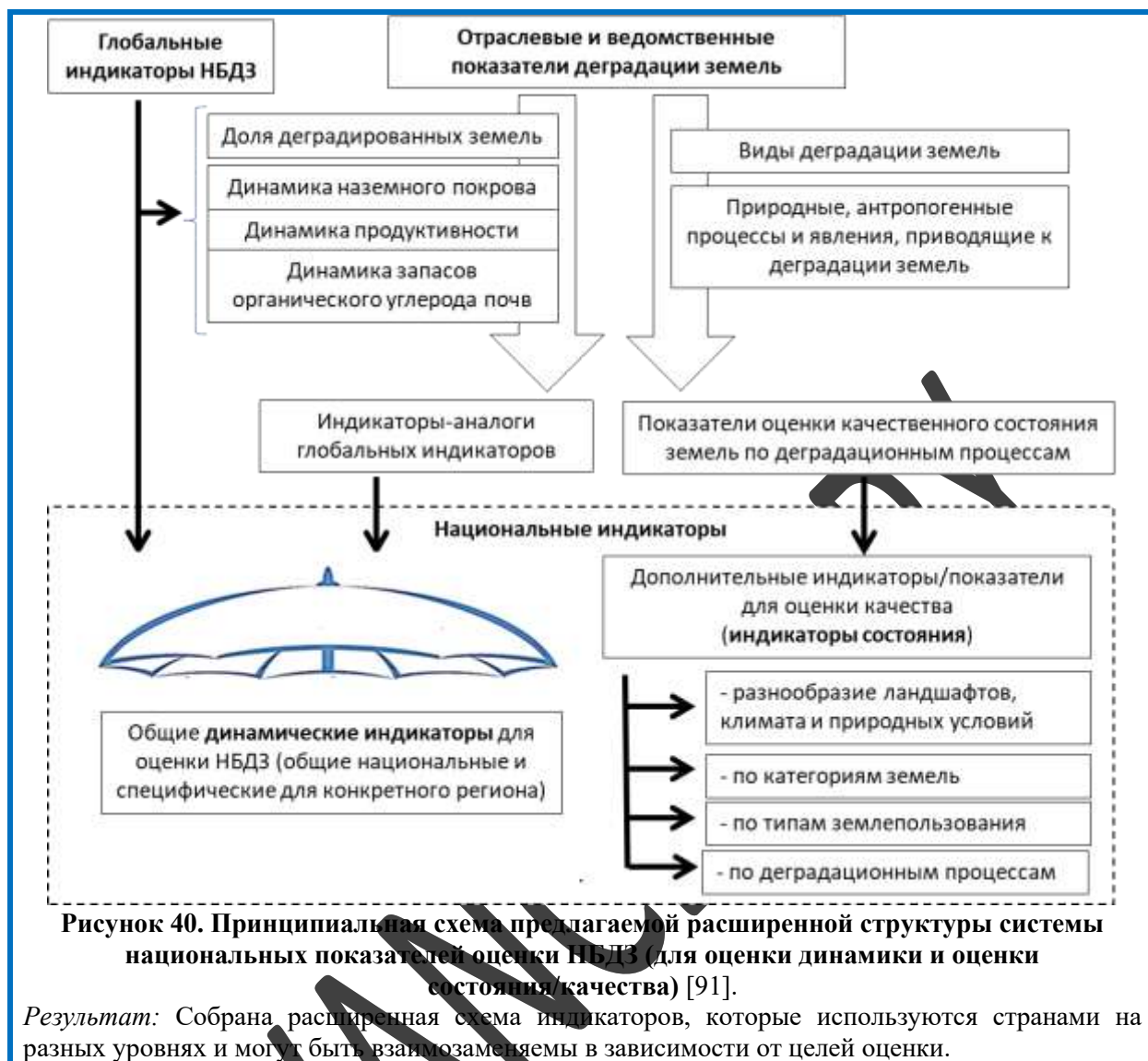
Рисунок 39. Индикаторы НБДЗ для различных приоритетов развития, типов земель и шкал оценки.

Кейс 26. Перечень возможных национальных показателей для оценки НБДЗ, отражающих региональные особенности стран Центральной Азии [92].

Решаемая проблема: Рассматривается необходимость и возможность использования различных индикаторов, адекватно и эффективно замещающих любой из трех или все глобальные прокси-индикаторы НБДЗ.

Контекст: В большинстве стран Центральной Азии используются показатели оценки деградации земель, разработанные еще в советское время. Странам следует обратить внимание на опыт разработки методик оценки, а также показатели, оценивающие специфические местные факторы, влияющие на деградацию земель. Например, в Узбекистане механизм мониторинга, оценки, подготовки форм отчетности и издания результатов мероприятий по борьбе с деградацией земель введен Постановлением Кабинета Министров от 02.02.2023 № 50 [97].

Применяемые методы: Методика основана на рассмотрении многообразия базовых и нормативных динамических (отражающих процессы и режимы), статических (отражающих состояние) и целевых (отражающих параметры качества) индикаторов, используемых в различных странах и их нормативных руководствах и регламентах. Проводилось сопоставление этих индикаторов с глобальными с учетом разных критериев: информативность, воспроизводимость, аналогичность, дополнительность, и др.



1  Эрозия почв	• Скорость и объем потерь почвенной массы • Площадь выведенных из сельскохозяйственного оборота земель вследствие деградации • Площадь земель, подверженных линейной эрозии • Площадь подвижных песков • Мощность почвенного профиля (A+B) • Расчлененность территории оврагами • Мощность дефляционного наноса
2  Изменение запасов почвенного органического углерода	• Запас гумуса в профиле почвы • Мощность гумусового (пахотного) горизонта
3  Водный режим	• Превышение уровня грунтовых вод • Площадь подтопленных или заболоченных территорий • Продолжительность затопления • Поднятие уровня минерализованных или пресных вод
4  Засоление и осолонцевание почв	• Площадь засоленных почв, % в год • Количественные показатели токсичной щелочности почв, содержания легкорастворимых солей, доли обменного натрия • Степень засоления / осолонцеватости почвы • Разновидности солончаков • Типы растительного покрова
5  Уплотнение почв	• Плотность и порозность почвы • Структура почвы
6  Химическое загрязнение	• Превышение ПДК • Суммарный показатель химического загрязнения • Проектное покрытие
7  Радиоактивное загрязнение	• Степень радиоактивного загрязнения • Мощность экспозиционной дозы на уровне 1 м от поверхности почвы
8  Снижение продуктивности наземных экосистем	• Урожайность сельскохозяйственных культур • Продуктивность пастбищной растительности • Скорость роста площади деградированных пастбищ • Урожайность и валовый сбор сельскохозяйственных культур, культур, ягод и винограда • Проектное покрытие • Плотность популяции вида-индикатора антропогенной нагрузки, % • Виды севооборотов

Рисунок 41. Возможные дополнительные показатели для оценки деградации земель

Кейс 27: Эффект «айсберга»: почему глобальные индикаторы не «видят» эрозию и агроистощение (на примере Самарской области, Россия), по материалам отчета ИГРАН, 2025 [118].

Решаемая проблема: Как оценить реальные масштабы деградации земель в регионе интенсивного земледелия, если глобальные индикаторы (продуктивность, наземный покров) фиксируют лишь «вершину айсберга» и не отражают критически важные для плодородия процессы — смыв почвы, потерю гумуса и элементов питания? При планировании мероприятий по достижению нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) в Самарской области использование только стандартного набора индикаторов (рассчитанных, например, через модуль Trends.Earth) приводит к системной недооценке деградированных площадей. Остается неясным, на каких именно землях и за счет каких процессов теряется плодородие, а значит, невозможно

разработать адресные и экономически обоснованные меры по восстановлению.

Контекст: Пример рассмотрен для трех иерархических уровней— область в целом, пилотный муниципальный район и агрохозяйство. Самарская область — один из ключевых аграрных регионов России с преобладанием черноземных почв.

Однако многолетнее интенсивное использование привело к развитию водной эрозии и агроистощению — снижению содержания гумуса и доступных форм фосфора и калия. Стандартная методология НБДЗ, основанная на глобальных наборах данных, оказалась «слепа» к этим процессам, поскольку изменения в них могут происходить без смены типа землепользования и при относительно стабильном индексе NDVI.

Примененный метод (Трехуровневая система дополнительных индикаторов): Для решения проблемы была разработана и протестирована система верификации и дополнения глобальных индикаторов региональными и локальными данными. Ключевая идея заключалась в том, чтобы использовать информацию, которая напрямую отражает процессы, ведущие к потере плодородия, но не улавливается спутниковыми сенсорами в стандартном разрешении. Метод включал три блока дополнительных индикаторов:

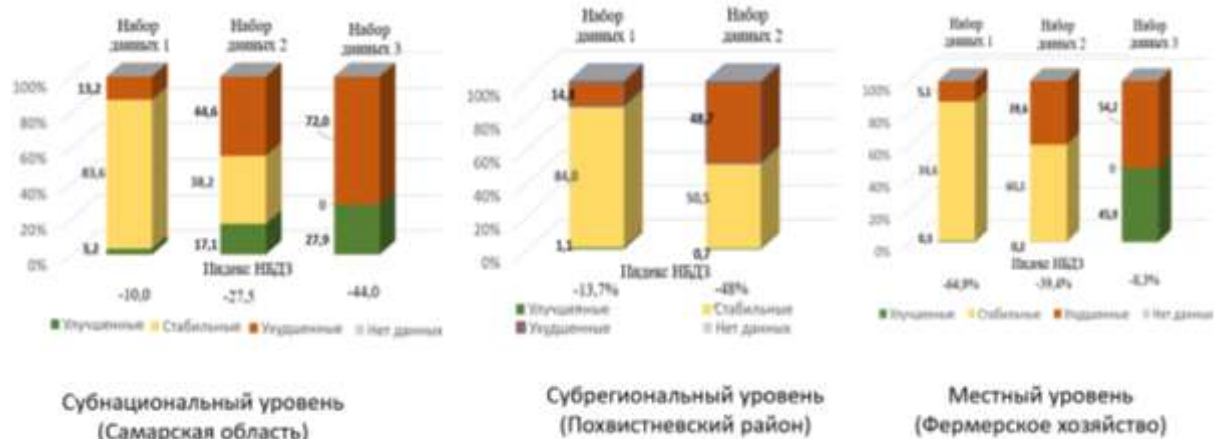
- **Индикатор эрозионной опасности и фактического смыва:** Поскольку картографические материалы по динамике эрозии отсутствовали, был предложен косвенный, но надежный показатель. Склоны крутизной более 2° были выделены как «эрозионно-опасные», и их площадь сопоставлена на начало и конец периода. Дополнительно для агрохозяйства проводилось визуальное дешифрирование космических снимков сверхвысокого разрешения для прямого подсчета прироста длины промоин. Валидация также проводилась с помощью визуального дешифрирования космических снимков высокого разрешения на тестовых полигонах.
- **Индикаторы агроистощения (дегумификация и снижение элементов питания):** В качестве замены малоинформативного глобального индикатора динамики почвенного органического углерода (который в Trends.Earth «привязан» к смене землепользования и в стабильных агроландшафтах всегда показывает «0») были использованы данные государственного агрохимического мониторинга. Оценивалась динамика содержания гумуса, подвижного фосфора и обменного калия в пахотном слое почв за 15-20 лет. Изменение более чем на 10% (по аналогии с порогом в Trends.Earth) фиксировалось как улучшение или ухудшение. Дополнительно, для расчета ущерба от деградации использовались шкалы степеней деградации из национальной методики, сравнивающие текущие показатели с эталонными значениями для черноземов.
- **Экономические индикаторы:** Чтобы оценить не только экологический, но и хозяйственный смысл деградации, были введены два расчетных показателя: Удельный ущерб от деградации (руб./га) — рассчитывался по адаптированной методике, учитывающей потерю стоимости земли и недополученный доход из-за снижения плодородия. Это позволило дать денежную оценку потерям от агроистощения. Рентабельность вложений в восстановление земель на разных временных горизонтах (6 и 20 лет) - соотношение затрат «действие/бездействие» - рассчитывалась по методике экономики деградации земель Й. фон Брауна.

Результат: Введение дополнительных индикаторов кардинально изменило оценку состояния земель и позволило количественно оценить скрытые процессы.

- **Эрозия как главный «невидимый» фактор:** Включение индикатора эрозионной опасности показало, что в тестовом районе 37% территории подвержено риску смыва или уже эродировано. На уровне области этот показатель составил 15,5%. На местном уровне было доказано, что именно на эрозионноопасных склонах происходит устойчивое снижение продуктивности (по NDVI) и содержания гумуса. Без этого индикатора причина деградации оставалась бы «климатической» или «неустановленной».
- **Фосфорное голодание:** Главным фактором деградации на всех уровнях является не потеря гумуса, а резкое снижение содержания подвижного фосфора. На уровне области ухудшение по фосфору затронуло 13,7% территории, в пилотном хозяйстве вклад этого показателя в общий ущерб составил 63%. Стандартный индикатор «продуктивность» этого не показывал, так как урожайность краткосрочно поддерживалась удобрениями, но долгосрочный потенциал плодородия падал.
- **Экономический парадокс:** Расчеты показали, что при почти равном удельном ущербе от

деградации на всех трех уровнях ($\approx 25\text{--}33$ тыс. руб./га), рентабельность восстановления кардинально различается. Для области и района вложения в восстановление оказались рентабельны в 20-летней перспективе (соотношение бездействия к действию >1), так как текущая продуктивность земель низка. Для пилотного хозяйства, использующего технологии no-till, восстановление оказалось нерентабельным (соотношение <1), несмотря на наличие эрозии и потерь фосфора.

Парадокс объясняется тем, что высокая культура земледелия обеспечивает высокий текущий доход, и затраты на дополнительную «борьбу с деградацией» экономически не окупаются в кратко- и среднесрочной перспективе, хотя экологически они все еще необходимы.



Набор данных 1: 3 базовых глобальных индикатора; Набор данных 2: 2 базовых глобальных индикатора (наземный покров, продуктивность по NDVI в более детальном разрешении масштабе (Landsat)), Набор данных 3: наземный покров, продуктивность по NDVI в более детальном разрешении масштабе (Landsat)), динамика урожайности, содержания доступных форм калия; содержания доступных форм фосфора; эрозионной опасности.

Рисунок 42. Изменение результатов оценки НБДЗ при использовании региональных индикаторов.

Интерпретация: Полученные результаты позволили сформулировать ключевой вывод для региональной политики: глобальные индикаторы НБДЗ видят лишь вершину деградации. Реальная картина («подводная часть айсберга») складывается из процессов эрозии и агроистощения, которые требуют отдельных, более затратных методов мониторинга. Индекс ЦУР 15.3.1, рассчитанный по адаптированной методике (с включением индикаторов эрозии и агрохимических данных), показал в 2-4 раза большую площадь деградации, чем базовая методика (для области — 72% против 13%). Это доказывает, что без региональной настройки и введения дополнительных индикаторов планирование мер по НБДЗ будет опираться на ложную картину благополучия и приведет к неэффективному расходованию средств, направленных не на те процессы.

Кейс 28: Эффект «кривых зеркал»: почему глобальные данные видят улучшение земель там, где локальные — деградацию (на примере Центральной Азии) [26].

Решаемая проблема: Как получить достоверную оценку прогресса в достижении НБДЗ в регионе, где официальная статистика и глобальные спутниковые данные говорят на разных языках? При планировании трансграничных программ по борьбе с опустыниванием в Центральной Азии использование только глобальных наборов данных о земельном покрове (например, из открытых источников) приводит к систематической ошибке. Возникает ситуация «кривых зеркал»: глобальные данные могут показывать «улучшение» или «стабильность», в то время как локальные индикаторы и наземные исследования фиксируют неуклонную деградацию ценных пастбищ и почв. Без калибровки источников данных невозможно корректно применить принцип «подобное за подобное» (like-for-like) при зачете компенсационных мероприятий.

Контекст: Стояла цель оценить прогресс в достижении НБДЗ за 2000–2019 годы. Однако стандартная методология, рекомендованная КБО, допускает использование разных наборов

данных. Оценивалось, как выбор того или иного глобального продукта по наземному покрову (например, CCI-LC, MCD12Q1) влияет на итоговую картину деградации.

Примененный метод (Мульти-сенсорный анализ и учет качества почв):

1. **Сравнительный анализ наборов данных:** Для региона были параллельно рассчитаны три основных глобальных индикатора НБДЗ с использованием *разных* баз данных.

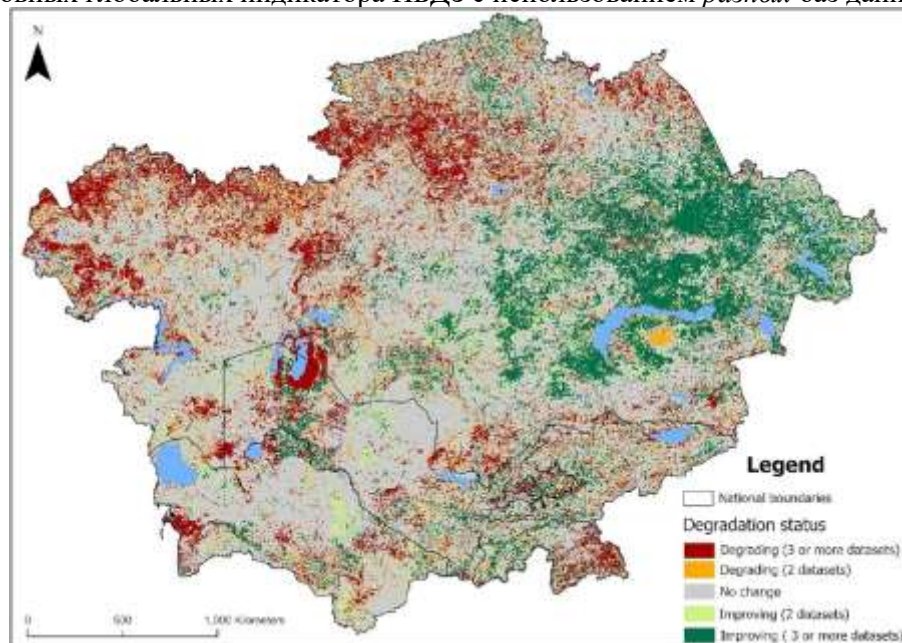


Рисунок 42. Карта соответствия статуса деградации между различными наборами данных о землепользовании. Области, где деградация или улучшение отмечены только на одной карте землепользования, считаются областями без изменений [26].

2. **Учет принципа «like-for-like» (подобное-за-подобное) с региональной спецификой:** Помимо подсчета площадей, данные о динамике земель были наложены на карту *качества почв*, разработанную специально для условий Центральной Азии (учитывающую засоление, эродированность, содержание гумуса). Это позволило впервые для региона ответить на вопрос: на почвах какого качества происходит деградация, а на каких — улучшение?

Результат: Выявлен драматический «эффект кривых зеркал» и дана количественная оценка рискам неверной интерпретации данных.

- **Диапазон неопределенности:** В зависимости от выбранного набора данных о наземном покрове, оценка площади деградированных земель в Центральной Азии варьировалась от 15% до 34% от всей территории. Разница более чем в два раза — это критическая неопределенность для планирования инвестиций на государственном уровне.
- **Потери на высококачественных почвах:** Площадь деградации на высококачественных почвах (наиболее ценных для сельского хозяйства) более чем в два раза превышает площадь улучшения на таких же почвах — 12% против 6%. Это означает, что регион теряет свой лучший ресурсный капитал. Улучшения, фиксируемые глобальными данными, часто происходят на изначально малопродуктивных или засоленных землях, что не компенсирует потерю «жирных» пастбищ и пашни.
- **Расхождение трендов:** Глобальные данные о продуктивности могут фиксировать положительные тренды (например, из-за увеличения вегетационной массы), в то время как локальные данные по структуре пастбищ и засолению указывают на деградацию. Это подтвердило проблему «ложного озеленения», описанную выше, но уже на макро-региональном уровне.

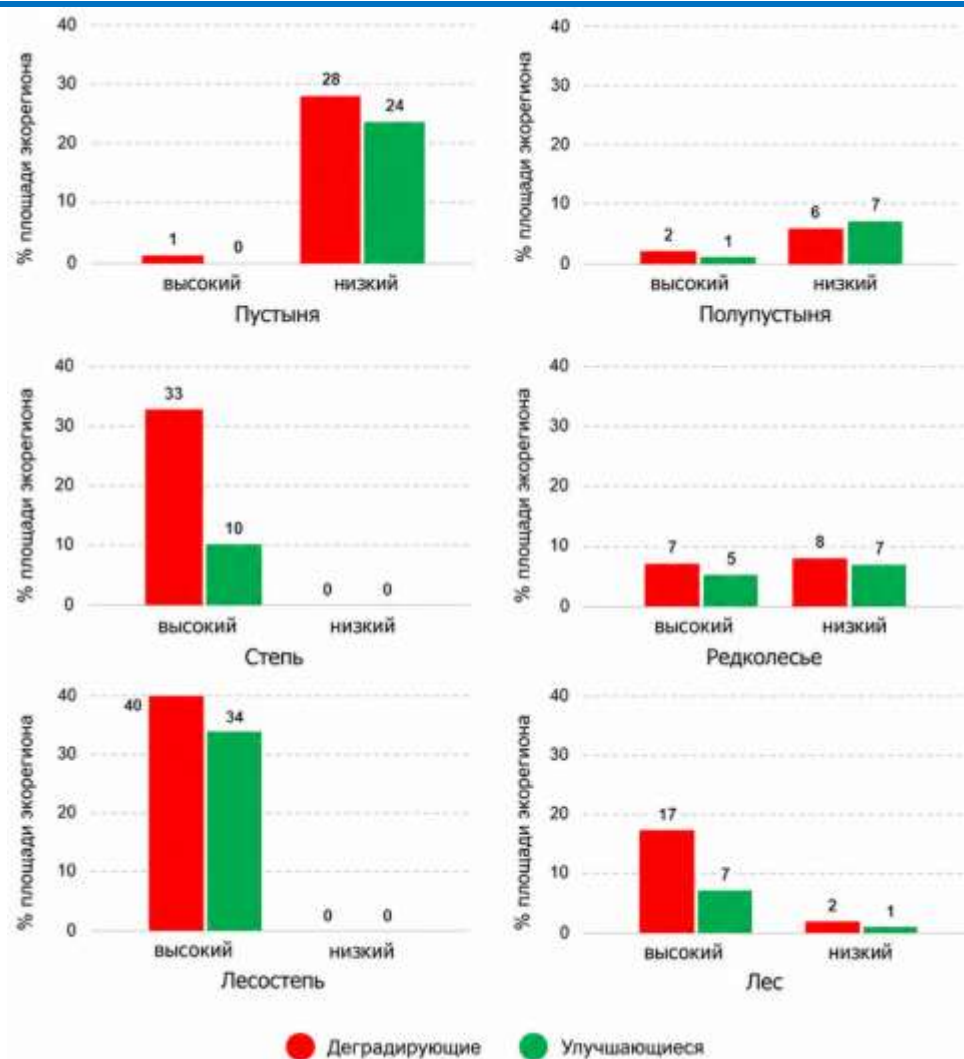


Рисунок 43. Тенденции деградации земель для различных категорий качества почвы в разных экорегионах оцениваемого региона.

Интерпретация: Полученные цифры могут быть основой для пересмотра подходов к отчетности по ЦУР 15.3.1 в странах Центральной Азии. Опора на единственный глобальный набор данных может создать иллюзию прогресса там, где его нет. Инструмент «чувствительного анализа» заключается в том, что прежде, чем выделять средства на компенсационные мероприятия, необходимо провести кросс-валидацию как минимум трех различных источников данных и обязательно наложить их на карту качества почв. Это единственный способ гарантировать, что принцип «подобное за подобное» соблюдается.

Кейс 29: Триангуляция данных: как, объединить взгляд из космоса, полевые замеры и местные знания (по материалам проекта ФАО/ГЭФ «PRAGA», Кыргызстан, 2022 [49]).

1. **Решаемая проблема:** Как убедиться, что данные, которые мы используем для оценки состояния пастбищ — спутниковые снимки, полевые исследования и экспертные знания местных сообществ — действительно достоверны и не противоречат друг другу? В горных условиях Кыргызстана опора только на один источник (например, глобальные данные Trends.Earth) может привести к серьёзным ошибкам: «зелёные» склоны, которые спутник считает улучшением, на деле могут оказаться зарастанием сорняками, а «деградированные» по спутнику высокогорья — быть в хорошем состоянии, но с естественными разрежениями растительного покрова. Необходим механизм «триангуляции», который позволит примирить эти подходы, выявить причины расхождений и выработать единую, разделяемую всеми сторонами основу для принятия решений.

Контекст: В 2019 году в рамках проекта PRAGA в Нарынской области Кыргызстана была проведена масштабная оценка пастбищ. Исследование охватило три типа пастбищ (зимние, весенне-осенние, летние) и использовало три независимых метода:

1. **Анализ спутниковых данных (ДЗЗ):** Оценка деградации по методике ЦУР 15.3.1 (земельный покров, продуктивность по NDVI, углерод) за 15 лет.
2. **Полевые исследования:** Оценка 782 пробных площадей профессиональными экспедициями по пяти ключевым индикаторам (эрозия, проективное покрытие, доля съедобных растений, высота трав, наличие семян).
3. **Восприятие пастухов (традиционные знания):** Участники пастбищных комитетов на картах разделили пастбища на три категории: «хорошие», «умеренные» и «плохие», основываясь на своём многолетнем опыте выпаса.

Задача состояла не в том, чтобы выяснить, «кто прав», а в том, чтобы понять причины расхождений и разработать процедуру их согласования (валидации), которая станет фильтром достоверности перед любыми инвестиционными решениями.

Применённые методы (Триангуляция и валидация данных):

1. **Первичное сопоставление:** Результаты трёх подходов были наложены друг на друга. Совпадение результатов оказалось лишь в 39% случаев. Это подтвердило, что проблема существует и требует обязательной процедуры проверки.

2. **Анализ расхождений по типам пастбищ:**

Выяснилось, что уровень достоверности каждого метода сильно зависит от ландшафта:

- **Зимние пастбища (вблизи сёл):** Все три метода совпали в **100%** случаев. Причина: пастбища сильно деградированы из-за постоянного пресса, что очевидно и для спутника, и для учётника, и для пастуха. Здесь спутниковым данным можно доверять без дополнительной проверки.
- **Летние пастбища (высокогорья):** Совпадение составило **41,7%**. Пастухи часто не соглашались с данными ДЗЗ, утверждая, что наличие открытого грунта (проплешин) на такой высоте — это естественная норма, а не признак деградации, как классифицирует спутник.
- **Весенне-осенние пастбища (среднегорья):** Совпадение оказалось самым низким — всего **11%**. Это самый сложный тип пастбищ, где сочетаются высокое биоразнообразие, активная вегетация и наличие как съедобных, так и несъедобных (сорных) видов.

3. **Выявление «ловушек» для спутниковых данных (источников недостоверности):**

- **«Эффект пашни»:** На весенне-осенних пастбищах спутник фиксировал резкий рост «зелености» (NDVI). Полевые данные и пастухи это опровергали. При валидации выяснилось, что рост NDVI обеспечивают не пастбища, а вкрапления пахотных земель (люцерна, ячмень), которые спутник ошибочно учитывает как часть пастбищного массива.
- **«Эффект сорняков»:** Высокое биоразнообразие в среднегорьях, включающее много несъедобных для скота видов (например, *Artemisia*, *Carex*), также даёт высокий NDVI. Пастухи воспринимают это как «плохое» состояние (сорняки), а спутник — как «хорошее» (высокая биомасса).

Результат: процедура валидации как гарант достоверности

Проведение валидационных семинаров с участием пастухов, где им показали спутниковые карты и полевые данные, позволило «примирить» подходы и добиться впечатляющего роста согласованности:

- Совпадение между восприятием пастухов и полевыми данными выросло с 80% до 86,7%.
- Совпадение между восприятием пастухов и данными ДЗЗ выросло с 46,4% до 89,3%.
- Совпадение между полевыми данными и ДЗЗ выросло с 46,4% до 96,4%.

Интерпретация:

Исследование доказало, что ни один из методов не является «истиной в последней инстанции». Достоверность данных зависит от контекста:

- **Спутники** отлично работают на однородных и сильно изменённых ландшафтах (зимние пастбища), но «слепают» в сложных мозаичных экосистемах.
- **Полевые исследования** дают точку, но не могут покрыть большие площади.
- **Пастухи** обладают бесценным контекстным знанием, но оно субъективно.

Ключевой результат для политики и практики: **инвестиции в восстановление пастбищ нельзя планировать, опираясь только на спутниковые карты.** Необходимо создавать процедуры обязательной валидации с участием местных сообществ. Триангуляция данных — это не академическое упражнение, а практический инструмент фильтрации недостоверной информации, который не только повышает точность диагностики, но и создаёт основу для доверия и совместного управления.

Глава 18. Решение институциональных проблем: проблема совместимости данных и координации прогнозов

Практика апробации концепции НБДЗ и ее возможных методов во всех странах Центральной Азии и России показывает, что даже самый совершенный технический инструментарий оказывается бесполезным, если он не встроен в работающую институциональную среду. Данные о землях, собираемые различными ведомствами (кадастровыми службами, органами сельского и лесного хозяйства, гидрометеорологическими структурами), формируются в рамках разрозненных информационных систем и нередко основаны на несогласованных классификациях и форматах. Это делает невозможным автоматический расчет индикатора ЦУР 15.3.1, требует трудоемкой ручной обработки и, что еще важнее, не позволяет строить надежные прогнозы, требующие интеграции климатических, почвенных и управленческих данных.

Отсутствие эффективной межведомственной координации и интегрированной инфраструктуры пространственных данных может ограничивать потенциал концепции НБДЗ, сводя её применение преимущественно к задачам отчетности, а не к поддержке регулярных управленческих и стратегических решений. Кроме того, при отсутствии согласованных подходов к использованию прогнозных моделей существует риск формирования несопоставимых оценок и сценариев различными ведомствами, что может снижать согласованность планирования и затруднять выработку единых приоритетов развития. Значение научно-политических платформ для укрепления научной основы, согласованности и практической применимости решений по вопросам деградации земель рассмотрено в [44].

В данной главе рассматривается переход от преимущественно технических решений к институциональным механизмам реализации. На примерах различных стран показано, как развитие национальных ГИС-платформ, укрепление полномочий межведомственных

координационных структур, интеграция прогнозных модулей в системы поддержки принятия решений и инвестиции в развитие кадрового потенциала способствуют трансформации разрозненных данных в согласованную систему управления земельными ресурсами.

Такой переход создаёт условия для смещения акцента от реагирования на уже произошедшие изменения к более проактивному и стратегически ориентированному управлению земельными ресурсами.

Кейс 30: Опыт создания межведомственной координации и инфраструктуры данных в Узбекистане

Контекст: Постановление Кабинета Министров № 50 от 02.02.2023 года [97] в Узбекистане законодательно закрепило механизм мониторинга деградации земель и обязало ряд министерств (Экологии, Сельского хозяйства, Водного хозяйства, Кадастровое агентство) предоставлять данные для этих целей.

Применение метода: При Министерстве экологии был создан Координационный совет по НБДЗ с участием всех ключевых ведомств и научных институтов (например, НИИ Почвоведения).

Техническая платформа: При поддержке проектов ФАО началась разработка национальной ГИС-платформы на базе открытого ПО (GeoNode, OGIS Server). Платформа интегрирует: Автоматически обновляемые слои с индикаторами ЦУР 15.3.1 (на основе Trends.Earth); Слои с национальными индикаторами (засоление, состояние пастбищ); Метеоданные от Узгидромета; Оцифрованные исторические карты.

Стандартизация: Были разработаны и утверждены единые стандарты обмена данными и классификации для всех ведомств-участников.

Результат: По национальным оценкам, создание платформы позволило в 2-3 раза сократить время подготовки национального отчета по ЦУР 15.3.1. Но главное — появление единого источника валидации и прозрачных данных позволило Координационному совету впервые начать предметный разговор о целях НБДЗ на основе согласованных цифр, а не ведомственных интересов.

Кейс 31: Дефицит компетенций – главный тормоз НБДЗ: как страны Центральной Азии преодолевают кадровый голод в сфере геотехнологий

Решаемая проблема: Реализация концепции НБДЗ требует от стран регулярного расчета индикатора ЦУР 15.3.1, что невозможно без квалифицированных специалистов, владеющих ГИС, методами дистанционного зондирования, анализом временных рядов и машинным обучением. Во всех странах Центральной Азии остро стоит проблема дефицита таких кадров. Без них невозможны ни корректная интерпретация спутниковых данных, ни создание национальных систем поддержки принятия решений, ни верификация "горячих точек" деградации на местности. Международные проекты, реализуемые в регионе, сталкиваются с общей проблемой: разовые обучения дают точечный эффект, но не формируют устойчивый институциональный потенциал. Ниже представлен анализ того, как страны Центральной Азии решают эту проблему, и как подготовка кадров напрямую или косвенно связана с задачами НБДЗ.

Подкейс 31.1. Узбекистан: целевая подготовка по методикам оценки эрозии

В Узбекистане подготовка кадров сфокусирована на конкретных методиках, напрямую связанных с индикаторами НБДЗ. Например, в ноябре 2025 года ICARDA и НИИ охраны окружающей среды провели тренинг «Оценка почвенной эрозии и применение RUSLE». Ключевая особенность – обучение было построено вокруг конкретного инструмента (RUSLE), позволяющего оценивать один из главных факторов деградации в предгорьях.

Связь с НБДЗ: Эрозия почв – один из процессов, ведущих к потере продуктивности и снижению запасов почвенного углерода (два из трех глобальных индикаторов НБДЗ). Обучение национальных специалистов работе с эрозионными моделями позволяет перейти от теоретических построений к количественной оценке потерь почвы и планированию

противоэрозионных мероприятий. Важно, что в тренинге участвовали представители МЧС, Минэкологии, Узгидромета и Агентства лесного хозяйства – именно те ведомства, которые в дальнейшем будут участвовать в межведомственной отчетности по НБДЗ. Полевая валидация, где совместные команды документировали промоины и овраги, позволила "связать результаты моделирования с реальностью", что критически важно для калибровки спутниковых данных.

Параллельно в Университете геологических наук прошел тренинг по ДЗЗ и ГИС с корейскими партнерами (KIGAM), где участники осваивали анализ спутниковых снимков и создание цифровых моделей рельефа. Эти навыки напрямую применимы для мониторинга изменений наземного покрова – первого глобального индикатора НБДЗ. Национальный университет Узбекистана в рамках проекта NICORA модернизирует учебные программы по точному земледелию, включая ГИС и анализ больших данных, что создает долгосрочную базу для подготовки кадров, понимающих связь между продуктивностью земель и технологиями управления.

Пробелы: Несмотря на прогресс, система пока фрагментирована – обучение ведется в рамках отдельных проектов, и отсутствует единый центр компетенций по НБДЗ, который координировал бы подготовку кадров для всех вовлеченных ведомств.

Под кейс 31.2. Кыргызстан: гибридный подход и институционализация через университеты

В Кыргызстане сформировался наиболее комплексный подход, сочетающий целевую подготовку специалистов для госорганов и системное университетское образование. В ноябре 2025 года в рамках проекта KG RESILAND (Всемирный банк) при поддержке Европейского космического агентства (ESA) прошел тренинг с уникальным гибридным форматом [74].

Связь с НБДЗ: Обучение сочеталось с полевой валидацией в Ошской области, где участники не только осваивали алгоритмы обработки оптических и радарных данных, но и выезжали на целевые участки для проверки выявленных "горячих точек". Это прямое воспроизводство методологии PRAGA (описанной выше), где местные знания интегрируются со спутниковыми данными для точной диагностики деградации. Участие представителей МЧС, Службы водной защиты и Госагентства по земельным ресурсам создает платформу для межведомственного обмена данными, необходимыми для отчетности по ЦУР 15.3.1.

Параллельно КГТУ им. Раззакова реализует программу "Образование по Цифровой Земле" (Digital Earth Qualification) совместно с Зальцбургским университетом. Пять модулей курса охватывают полный спектр компетенций: от основ цифровой Земли до пространственного анализа и ДЗЗ. Это пример системной подготовки кадров, которые в будущем смогут самостоятельно вести мониторинг деградации, не полагаясь на международных экспертов. Важно, что курс доступен не только студентам, но и действующим специалистам.

Пробелы: Требования к ГИС-компетенциям уже закреплены в квалификационных характеристиках госслужащих (например, в Госагентстве по земельным ресурсам), что свидетельствует об институционализации, однако охват обученных пока не покрывает кадровую потребность всех регионов.

Под кейс 31.3. Казахстан: фундаментальная университетская подготовка

Казахстан делает ставку на фундаментальное образование как основу кадрового потенциала для НБДЗ. В КазНУ им. аль-Фараби на кафедре картографии и геоинформатики ведется подготовка бакалавров, магистров и докторантов по программам "Геоинформатика" и "Природно-техногенные риски".

Связь с НБДЗ: Учебные программы включают изучение ArcGIS, обработку данных дистанционного зондирования, создание и анализ цифровых карт, а также языки программирования для автоматизации анализа. Это именно те компетенции, которые необходимы для расчета индикатора ЦУР 15.3.1, анализа временных рядов NDVI и оценки динамики земельного покрова. Выпускники этих программ – кадровый резерв для национальных земельных комитетов и НИИ, которые будут заниматься отчетностью по НБДЗ.

В Южно-Казахстанском университете им. Ауэзова программа "Кадастр" готовит специалистов, владеющих методами мониторинга земель для выявления изменений состояния, а также аэрокосмической съемкой и обработкой данных ДЗЗ. Результаты обучения напрямую коррелируют с задачами НБДЗ: выпускники должны уметь проводить мониторинг для выявления негативных процессов и выработать рекомендации.

Пробелы: Сильная фундаментальная подготовка пока слабо увязана с практическими задачами

конкретных ведомств. Ощущается дефицит регулярных целевых программ повышения квалификации для действующих сотрудников министерств, аналогичные тем, что реализуются в Узбекистане и Кыргызстане.

Подкейс 31.4. Таджикистан: целевая подготовка для чрезвычайных служб и водного хозяйства

Таджикистан, наиболее уязвимый к природным катастрофам, фокусируется на подготовке специалистов для оперативного реагирования. В рамках того же проекта ICARDA/USFS, что и в Узбекистане, таджикские специалисты осваивали методы оценки эрозии и рисков наводнений. В проекте "Degradation Prevention" совместные команды из комитета по чрезвычайным ситуациям и лесных служб документировали эрозионные формы, что напрямую связано с верификацией данных для НБДЗ.

Связь с НБДЗ: Дegradaция земель в горных условиях напрямую коррелирует с рисками селей и оползней. Подготовка специалистов, способных оценивать эрозионные процессы и моделировать их последствия, создает основу для включения фактора деградации в системы раннего предупреждения. Это пример того, как задачи НБДЗ интегрируются в более широкий контекст управления рисками.

При поддержке GIZ и Национальной водной информационной системы (НВИС) проведены тренинги для сотрудников бассейновых управлений и Таджикского аграрного университета по работе с ArcGIS, веб-ГИС и геопорталом GeoNode. Эти навыки необходимы для учета земель, планирования пастбищеоборотов и оценки продуктивности угодий – ключевых элементов НБДЗ на локальном уровне.

Пробелы: Подготовка кадров ведется исключительно в проектных рамках и сильно зависит от внешнего финансирования. Отсутствует собственная университетская школа геоинформатики, аналогичная казахстанской.

Подкейс 31.5. Туркменистан: информационный вакуум

По Туркменистану в открытых источниках практически отсутствует информация о программах подготовки кадров в области ГИС и ДЗЗ для задач мониторинга земель. Это само по себе является индикатором проблемы: страна, вероятно, сталкивается с острым кадровым дефицитом, который не закрывается ни международными проектами, ни собственными образовательными инициативами. Учитывая, что Туркменистан, как и другие страны региона, является стороной КБО и участвует в отчетности по индикатору ЦУР 15.3.1, отсутствие в открытом доступе информации о национальных программах подготовки кадров высвечивает важность развития регионального сотрудничества в этой сфере. Обмен опытом и включение туркменских специалистов в существующие образовательные инициативы могли бы стать важным шагом к укреплению общего потенциала стран Центральной Азии в области мониторинга земель.

Кейс 32: Масштабирование местных знаний: как превратить «пять индикаторов», используемых чабанами, в национальную систему мониторинга пастбищ с помощью машинного обучения (по материалам проекта ФАО/ГЭФ «PRAGA», Кыргызстан, 2022 [49]).

Решаемая проблема: Как, имея надёжные локальные данные, собранные сообществами, создать работающую на всю страну систему мониторинга пастбищ? Традиционные методы либо слишком дороги для регулярного применения на огромных территориях (госэкспедиции), либо дают искажённую картину (спутниковый NDVI, не различающий съедобные и ядовитые растения). Необходима система, которая, с одной стороны, является экономичной и может использоваться самими сообществами для оперативного управления, а с другой — позволяет масштабировать локальные знания на всю страну для принятия государственных решений и планирования инвестиций в рамках достижения НБДЗ.

Контекст:

Кыргызстан — страна с уникальной системой управления пастбищами. Согласно Закону «О пастбищах» 2009 года, ответственность за их использование и мониторинг возложена на местные Пастбищные комитеты (ПК), объединяющие пользователей пастбищ. Однако до недавнего времени у ПК не было простого и стандартизированного инструмента для этой работы. Параллельно существовала государственная служба «Кыргызгипрозем» с сетью из 275 стационарных пунктов мониторинга, но их данные обновлялись редко и не всегда доходили до уровня конкретных сообществ.

Применённый метод (Интеграция знаний и технологий):

Разработана методология, которая объединяет три источника знаний: 1) традиционные знания пастухов, 2) упрощённые полевые обследования и 3) современные технологии (ДЗЗ и машинное обучение). Процесс включал два этапа:

Этап 1. Разработка «народного» протокола мониторинга (Пять индикаторов)

На сериях встреч с пастухами и членами ПК (всего 75 участников) их попросили назвать признаки, по которым они сами определяют состояние пастбища. Выяснилось, что пастухи интуитивно используют простые, но информативные вегетационные индикаторы и практически не упоминают сложные почвенные или водные параметры.

На основе предложений сообщества и научных требований была создана простая анкета, интегрированная в мобильное приложение (KoVo Toolbox). Анкета включала всего пять ключевых визуальных индикаторов, которые любой пастух мог оценить на глаз: наличие признаков эрозии почвы; процент проективного покрытия почвы растительностью; процент съедобных (поедаемых) растений; средняя высота травостоя; наличие семян у растений (признак возобновления).

С использованием этого протокола команды из 2-3 человек (включая членов ПК) смогли оценить более 780 пробных площадей на четырёх пилотных участках, покрыв территорию около 2 млн га за 2 года, что доказало скорость и экономичность метода.

Этап 2. Интеграция с машинным обучением и ДЗЗ для масштабирования

Данные, собранные пастбищными комитетами через мобильное приложение (геопривязанные фотографии, доминирующие виды растений — «кормовые», «сорные», «ядовитые», проективное покрытие), стали не просто отчётами, а обучающей выборкой.

Тысячи полевых точек с привязкой к координатам были использованы для обучения алгоритма машинного обучения (Random Forest). Алгоритм анализировал многолетние временные ряды спутниковых снимков Sentinel-2 и искал закономерности между спектральными сигнатурами и категориями качества пастбищ, определёнными пастухами на земле.

Обученный алгоритм позволил классифицировать всю территорию пастбищ, создав карты, которые показывают не просто «зелёность» (NDVI), а вероятность распространения ценных кормовых трав, сорняков и ядовитых растений.

Полученные карты на следующий год снова предъявлялись пастбищным комитетам для проверки и корректировки, замыкая цикл обратной связи и повышая точность модели.

Результат: Созданная двухэтапная система позволила достичь синергетического эффекта, невозможного при использовании какого-либо одного подхода.

- Валидность «народных» данных: Сравнение упрощённых полевых данных, собранных по пяти индикаторам, с детальными научными оценками показало высокую степень корреляции. Уровень согласия между простыми полевыми данными и восприятием пастухов после валидации достиг 86,7%.

- Инструмент для местного управления: ПК получили не просто отчёт, а работающий инструмент. Пять индикаторов позволяют им аргументированно принимать решения: например, если на участке снижается высота трав и доля съедобных растений, пора вводить пастбищеоборот. Фиксация этих же индикаторов через год показывает эффективность принятых мер.
- Технологический прорыв в масштабировании: Благодаря машинному обучению локальные знания пастухов были экстраполированы на всю территорию. В пилотных айылных аймаках Нарынской области были созданы карты, на которых выделены зоны с высокой вероятностью распространения сорняков. Точность классификации качества пастбищ достигла 85% — это принципиально недостижимый уровень при использовании только NDVI.
- Выявление «зелёных пустынь»: Новые карты позволили впервые идентифицировать зоны, где высокий индекс NDVI (традиционно интерпретируемый как «хорошо») на самом деле скрывает заросли несъедобных или ядовитых растений. Эти «зелёные пустыни» стали объектами для прицельных управленческих воздействий (например, регулирование сроков выпаса или механическое удаление сорняков).
- Дифференциация подходов по типам пастбищ: Опыт показал, что для разных типов пастбищ можно использовать разные комбинации методов:
 - Зимние пастбища (около сёл): достаточно простого визуального контроля силами ПК.
 - Летние пастбища (высокогорья): эффективна комбинация спутникового мониторинга и выборочных полевых проверок.
 - Весенне-осенние пастбища (среднегорья с высоким биоразнообразием): обязательным остаётся привлечение местных знаний, так как именно пастухи лучше всех различают съедобные и несъедобные виды.

Интерпретация: Этот кейс демонстрирует идеальную модель для стран, стремящихся к созданию национальной системы мониторинга НБДЗ, которая была бы одновременно научной, экономической и легитимной в глазах местных сообществ. Вместо того чтобы противопоставлять «науку» и «традиции», проект создал мост между ними. Пять простых индикаторов стали тем общим языком, на котором пастухи могут говорить с учёными. А машинное обучение стало тем инструментом, который позволил перевести этот разговор с уровня одного пастбища на уровень всей страны.

Ключевой результат для политики и практики заключается в том, что:

1. Инвестиции становятся адресными. Средства направляются не на абстрактные «деградированные пастбища», показанные спутником, а на конкретные участки, где пастухи подтверждают заиле сорняков, а алгоритмы — высокую вероятность этого.
2. Мониторинг становится непрерывным. Система передаёт ответственность за ежегодный сбор данных сообществам (ПК), а государство (или крупные проекты) отвечают за технологическую платформу, обучение алгоритмов и стратегическое планирование.
3. Достигается «социальная лицензия» на управление. Поскольку решения о выпасе и восстановлении принимаются на основе данных, в сборе которых участвовали сами пастухи, их легитимность и готовность к выполнению этих решений возрастают многократно.

Кейс 33: «Национальная машина для НБДЗ»: как государственная система обследования земель Казахстана создает основу для оценки деградации на национальном и субнациональном уровнях

Решаемая проблема: Как перейти от разрозненных и фрагментарных оценок деградации земель к созданию устойчивой, институционализированной национальной системы мониторинга, способной обеспечить регулярную и достоверную отчетность по индикаторам НБДЗ на всех уровнях — от конкретного поля до страны в целом? Глобальные прокси-индикаторы (наземный покров, продуктивность, почвенный углерод), рассчитанные по спутниковым данным, часто страдают от недостаточной точности, «ложного озеленения» и нечувствительности к критически важным локальным процессам (эрозия, засоление, пастбищная дигрессия). Для принятия обоснованных управленческих решений и планирования инвестиций в восстановление земель необходима надежная национальная система, объединяющая наземные данные, дистанционное зондирование и административные ресурсы. Казахстан, с его огромной территорией и критической зависимостью от пастбищного животноводства, нуждается в такой системе как в воздухе.

Контекст: Республика Казахстан обладает колоссальным земельным фондом, более 70% которого составляют сельскохозяйственные угодья, преимущественно пастбища. Деградация земель, включая опустынивание, эрозию и снижение продуктивности пастбищ, представляет собой одну из главных угроз экономической безопасности и устойчивости сельских территорий. В стране нет стройной системы, направленной на достижение НБДЗ, однако в ответ на вызовы ОДЗЗ и в русле международных обязательств (включая ЦУР 15.3) в стране исторически сложилась и продолжает развиваться система государственных организаций, каждая из которых отвечает за свой блок информации, необходимой для комплексной оценки состояния земель. Эти организации — РГП «ГИСХАГИ», республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Государственный институт проведения работ по обследованию земель» (ГИПРОЗем) и специализированный портал КазНИИЖиК — в совокупности формируют то, что можно назвать «**национальной машиной НБДЗ**», способной обеспечить данными все три глобальных индикатора и предложить более чувствительные национальные дополнения.

Примененный метод (Интеграция государственных систем мониторинга): В Казахстане сложилась эффективная система разделения труда между тремя ключевыми институтами. Их совместная деятельность покрывает практически все потребности оценки НБДЗ, от сбора первичных данных до создания аналитических продуктов и принятия решений.

1. РГП «ГИСХАГИ» (<https://gishagi.kz/>) — Фундамент: геодезия, картография и инфраструктура пространственных данных

Роль в системе НБДЗ: Институт является единственным поставщиком услуг по аэрофотогеодезическим изысканиям для сельскохозяйственного картографирования в республике. Он создает цифровую пространственную основу, без которой невозможна точная привязка всех остальных данных.

Методы и результаты для НБДЗ:

Геодезические и фотограмметрические работы обеспечивают получение высокоточных данных о рельефе и ситуации на местности. Это критически важно для корректной интерпретации границ земельных участков и категорий земель, что напрямую влияет на точность расчета индикатора «Динамика наземного покрова». Кроме того, это создает основу для моделирования эрозионных процессов и потоков вещества в ландшафте, что необходимо для оценки рисков деградации и косвенно — для уточнения моделей запасов «Почвенного органического углерода».

Цифровое картографирование и создание цифровых моделей местности служат базой для наложения всех тематических слоев (почвенных, геоботанических, данных ДЗЗ). Без точной картографической основы любые, даже самые детальные наземные обследования, теряют



пространственную привязку и не могут быть использованы для мониторинга изменений во времени.

2. Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Государственный институт проведения работ по обследованию земель» (ГИПРОЗем) (<https://giprozem.kz/>) — наземная верификация и учет качества земель



Роль в системе НБДЗ: Это центральное звено системы, отвечающее за прямое, инструментальное измерение параметров, соответствующих всем трем глобальным индикаторам НБДЗ. Институт с его разветвленной сетью филиалов по всем областям Казахстана является главным источником наземной верификационной информации. Деятельность института регулируется Земельным кодексом РК и рядом подзаконных актов, включая «Методику проведения бонитировки

почв» (с изменениями 2024 г.) и «Методику по проведению мониторинга земель» (2022 г.).

Методы и результаты для НБДЗ:

Почвенное обследование и бонитировка почв прямо соответствуют индикатору «Запасы почвенного органического углерода» и его национальному прокси. Почвенное обследование включает закладку почвенных разрезов, описание генетических горизонтов и отбор образцов для лабораторного анализа. Основные параметры, определяемые в лабораториях: Содержание гумуса (в %), запасы гумуса (т/га) в слое 0-20(30) см, Мощность гумусового горизонта (A+B1) в см, Гранулометрический состав (содержание физической глины, %), Содержание карбонатов, степень засоления (по плотному остатку и составу солей), Солонцеватость, Физические свойства: плотность сложения, влагоемкость.

Бонитировка почв — это сравнительная количественная оценка плодородия в баллах (по 100-балльной шкале). Расчет балла бонитета ведется на основе перечисленных выше параметров относительно эталонных почв региона. Корректирующие коэффициенты применяются для учета негативных признаков: эродированности, засоленности, каменистости и др. Изменение балла бонитета на одних и тех же участках при повторных обследованиях — это прямой национальный индикатор деградации (снижение балла) или восстановления (рост балла). Периодичность плановых почвенных обследований составляет, как правило, 15-20 лет, но в рамках мониторинга на контрольных участках наблюдения могут проводиться чаще.

Геоботаническое обследование прямо соответствует индикатору «Продуктивность земель» для пастбищ. Проводится с целью определения продуктивности растительного покрова (урожайности кормов в ц/га) и качественного состояния пастбищ. Методы включают: Полевые маршрутные исследования с закладкой учетных площадок, Определение ботанического состава травостоя (доля ценных, малоценных и вредных видов), Оценка проективного покрытия и состояния растительности (стадии пастбищной дигрессии). Геоботанические карты масштаба 1:50 000 — 1:100 000 служат основой для планирования пастбищеоборотов. Эти наземные данные служат эталоном для калибровки и валидации спутниковых индексов, используемых для мониторинга огромных пастбищных территорий.

Агрохимическое обследование прямо соответствует индикатору «Запасы почвенного органического углерода» и контроль агроистощения на пашне. Определяет содержание в почве: Гумуса, Подвижных форм азота, фосфора, калия, Микроэлементов (цинк, медь, кобальт и др.), Кислотности (рН). Регулярность для сельскохозяйственных земель установлена: на орошаемых землях — раз в 3-5 лет, на богарных — раз в 5-7 лет. С 2026 года агрохимическое обследование (агрохимкартограммы) становится обязательным для всех землепользователей, а его отсутствие или ухудшение качества почв более чем на 10-15% может грозить изъятием земель.

3. Портал КазНИИЖиК (<http://kazniizhik-pastures.kz/>) — Оперативный мониторинг и принятие решений.

Роль в системе НБДЗ: Этот специализированный ресурс демонстрирует переход от сбора данных к созданию инструментов поддержки принятия решений, особенно в критически важном секторе

пастбищного животноводства. Портал интегрирует данные ДЗЗ и наземной информации для создания картографических продуктов.

Методы и результаты для НБДЗ:

Система просмотра и получения данных MODIS NDVI (NDVI Greenness Maps): Это прямое, практическое воплощение мониторинга индикатора «Продуктивность земель» на основе данных ДЗЗ в режиме, близком к реальному времени. Система позволяет отслеживать динамику «зелености» пастбищ, выявлять тренды снижения продуктивности (деградация) и улучшения (восстановление), а также оперативно реагировать на засушливые явления.

Карта кормовых ресурсов (масштаб 1:1 500 000) — это детализированная карта «наземного покрова» для пастбищ, выделяющая типы по составу растительности (например, «ковыльно-типчаково-полынные», «солянково-полынные»), что важно для оценки их хозяйственной ценности.

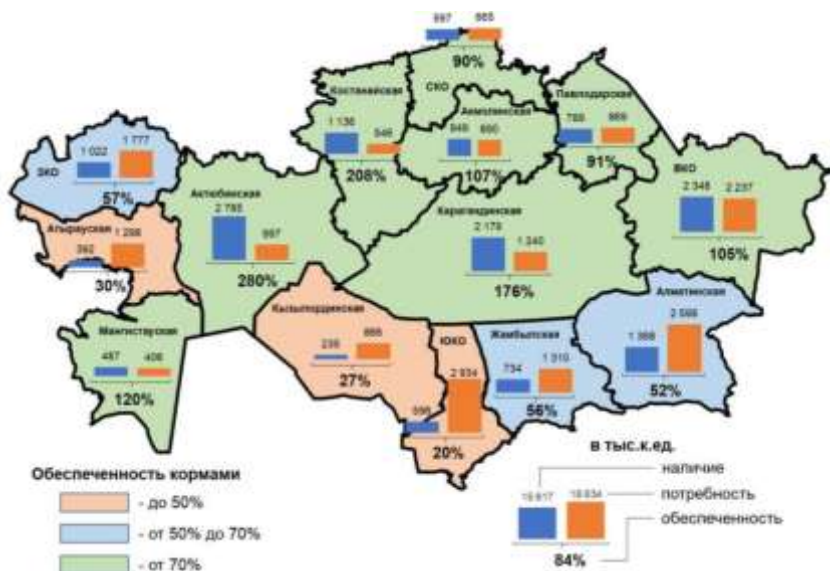


Рисунок 44. Карта обеспечения пастбищными кормами [77].

Карта нагрузки на пастбища — ключевой национальный индикатор. Расчет ведется на основе сопоставления фактической нагрузки (поголовье сельскохозяйственных животных / площадь пастбищ) с нормативной нагрузкой, утвержденной Приказом Министра сельского хозяйства РК. Нормативы дифференцированы по: Природным зонам и областям, Типам пастбищ (по преобладающей растительности), Состоянию пастбищ (восстановленные/ деградированные). Для деградированных пастбищ нормативная площадь на 1 голову выше. Превышение фактической нагрузки над нормативной сигнализирует о перевыпасе и высоком риске деградации. Если фактическая нагрузка составляет менее 50% от норматива, пастбище считается используемым не по назначению (риск зарастания сорной растительностью).

Карта обводнения пастбищ содержит информацию о наличии и состоянии источников воды (колодцы, скважины, водопой). Это критически важный косвенный индикатор, объясняющий пространственное распределение нагрузки: деградация инфраструктуры ведет к перегрузке ближних к воде пастбищ и недогрузке дальних, что провоцирует локальные очаги деградации.

Результат: Создание национальной системы оценки НБДЗ, обеспеченной данными на всех уровнях. Интеграция деятельности трех институтов создает мощный синергетический эффект, позволяя Казахстану выстроить полноценную систему для оценки и достижения НБДЗ.

Для глобального индикатора «Наземный покров»: Вклад: РГП «ГИСХАГИ» предоставляет точную картографическую основу. ГИПРОЗем осуществляет подготовку материалов по бонитировке почв, почвенных и геоботанических карт, а также карт деградации земель. КазНИИЖиК детализирует классы пастбищ, создавая тематические карты кормовых угодий.

Результат: Вместо грубых глобальных классов (например, «пастбища») национальная система позволяет оперировать детальными категориями «ковыльно-типчаково-полынные пастбища на солонцах», что критически важно для оценки их состояния и трендов.

Для глобального индикатора «Продуктивность земель»: Вклад: ГИПРОЗем проводит геоботанические обследования, получая наземные данные об урожайности (ц/га) и ботаническом составе. КазНИИЖиК использует эти данные для калибровки и интерпретации спутниковых индексов NDVI, создавая оперативные карты продуктивности на огромные территории.

Результат: Возникает двухуровневая система: наземные эталоны («верификация») и оперативный спутниковый мониторинг («охват»).

Это позволяет не только фиксировать факт снижения NDVI, но и понимать его причины (снижение урожайности кормов, смена видового состава или климатические флуктуации).

Для глобального индикатора «Почвенный органический углерод»:

Вклад: ГИИПРОЗем через почвенные и агрохимические обследования напрямую измеряет содержание гумуса и рассчитывает балл бонитета — интегральный показатель плодородия, который отражает качество почв с учетом интегральной оценки, а не ограниченной одним параметром.

Результат: Глобальный прокси, рассчитываемый по таблицам переходов, заменяется прямыми национальными измерениями. Это дает несравнимо более высокую точность и позволяет отслеживать процессы дегумификации и потери элементов питания даже при стабильном типе землепользования. Балл бонитета почв становится понятным и востребованным индикатором для аграриев и землеустроителей, так как напрямую связан с экономической оценкой земли и кадастровой стоимостью.

Для принципа «подобное за подобное (like-for-like)» и компенсационных мероприятий:

Вклад: Данные ГИИПРОЗем о типах почв, их бонитете и геоботанических характеристиках позволяют точно определить, на каких землях произошла деградация, а на каких — улучшение. Показатель нагрузки на пастбища от КазНИИЖиК помогает спланировать мероприятия по снижению давления (например, обводнение отдаленных пастбищ), чтобы компенсировать деградацию на ближних выпасах.

Результат: Соблюдение принципа «подобное за подобное» становится реалистичным. Деградация высокопродуктивных пойменных пастбищ не может быть компенсирована улучшением низкопродуктивных пустынных пастбищ, так как национальные данные позволяют четко разграничить эти категории.

Интерпретация и путь вперед:

Казахстанская государственная система обследования земель представляет собой уникальный пример институционализированного подхода к мониторингу, который идеально ложится в концепцию НБДЗ. Вместо того чтобы полагаться исключительно на глобальные спутниковые данные, страна создала и поддерживает «национальную машину», производящую собственные, более точные и релевантные данные, обеспеченные детальными методиками и нормативной базой.

Ключевой результат для политики и практики заключается в том, что:

1. Оценка деградации становится адресной и параметрической. Можно точно сказать, что в N-ской области на таких-то типах почв произошло снижение содержания гумуса на X% или балла бонитета на Y пунктов из-за вторичного засоления; а в NN-ской области на определенных типах пастбищ фактическая нагрузка превышает нормативную в Z раз, что ведет к снижению продуктивности, фиксируемому по NDVI и подтвержденному геоботаническими данными.
2. Планирование восстановления становится экономически обоснованным. Зная балл бонитета и фактическую продуктивность, можно рассчитать упущенную выгоду от деградации и сравнить ее со стоимостью фитомелиоративных работ или строительства водопоя. Обязательность агрохимических обследований создает механизм контроля эффективности вложений.
3. Отчетность по ЦУР 15.3.1 становится достоверной и прозрачной. Казахстан может отчитываться не усредненными глобальными моделями, а конкретными данными национального мониторинга, собранными по единым стандартам (почвенным, геоботаническим, агрохимическим) и подтвержденными наземными наблюдениями на сети контрольных участков.

Таким образом, система, состоящая из РГП «ГИСХАГИ» (картографический фундамент), ГИИПРОЗем (наземная верификация и учет качества с детальными параметрами бонитировки и агрохимии) и портала КазНИИЖиК (оперативный мониторинг и аналитика пастбищ с нормативами нагрузки), является готовым и работающим прототипом национальной системы мониторинга для НБДЗ, который может быть взят для тиражирования в странах центральноазиатского региона. Ее дальнейшее развитие — в цифровизации архивных данных, создании единой национальной платформы с открытым доступом к обезличенным данным и

интеграции с системами точного земледелия — позволит не только успешно отчитываться по добровольным международным обязательствам, но и эффективно управлять земельными ресурсами страны, восстанавливая уже нарушенные земли и предотвращая дальнейшую деградацию.

Заключение: от разрозненных усилий – к региональному сотрудничеству

Проведённый анализ свидетельствует о том, что страны Центральной Азии находятся на различных этапах развития кадрового и институционального потенциала в сфере НБДЗ, при этом каждая формирует собственные приоритеты и направления специализации.

Казахстан располагает развитой академической базой, обеспечивающей подготовку специалистов в области ГИС, дистанционного зондирования и анализа данных. Существующий потенциал создает благоприятные условия для дальнейшего расширения прикладного использования этих компетенций в задачах НБДЗ.

Кыргызстан демонстрирует сбалансированную модель, сочетающую подготовку государственных служащих, развитие университетских программ и постепенную институционализацию требований к ГИС-компетенциям в системе государственного управления.

Российская Федерация обладает значительным научно-методическим потенциалом в области НБДЗ, устойчивого землепользования, а также почвоведения, ландшафтной экологии, геоинформационного анализа и дистанционного зондирования. Развитая сеть научных институтов и университетов обеспечивает подготовку специалистов и разработку методологических подходов к мониторингу деградации земель и устойчивому управлению земельными ресурсами, включая аридные и полуаридные территории Евразии.

Таджикистан уделяет внимание прикладной подготовке специалистов, работающих в зонах повышенного природного риска, интегрируя вопросы НБДЗ в более широкий контекст управления природными процессами и устойчивости территорий.

Туркменистан, обладая богатым историческим опытом регионального сотрудничества в области борьбы с опустыниванием, деградацией земель и засухой (в советский период страна была признанным центром обмена передовыми практиками), последовательно развивает национальную систему подготовки кадров в сфере НБДЗ. Дальнейшее расширение участия страны в региональных инициативах по развитию компетенций и обмену знаниями открывает широкие перспективы для взаимовыгодного сотрудничества.

Узбекистан активно развивает проектно-ориентированную подготовку по конкретным методикам, вовлекая межведомственные команды и уделяя внимание полевой верификации. Такой подход способствует формированию практических компетенций и готовности к совместным инициативам.

Заключение к Части III

От диагностики к действию — формирование национального фундамента НБДЗ

Представленные в Части III практические кейсы и методические подходы убедительно доказывают: «белые пятна» и неопределенности глобальной методологии, выявленные ранее, не являются непреодолимым препятствием. Напротив, они служат драйверами для разработки более совершенного, адаптированного инструментария, учитывающего сложную природу аридных и высокогорных ландшафтов Центральной Азии и сопредельных территорий России.

Пройден путь от переосмысления фундаментальных основ оценки — замены статичной «точки отсчёта» на динамическую базовую линию и анализа полных временных рядов — до создания сложных предиктивных моделей. Ключ к пониманию реальных процессов заключается в переходе от плоской дихотомии «деградация/улучшение» к объёмной диагностике: выявлению скрытых механизмов («наступление» против «истощения»), локализации «горячих точек» хронической деградации и «ярких точек» устойчивого восстановления, а также количественному прогнозированию возможных будущих потерь.

Однако главный урок, который выносится из анализа регионального опыта, выходит за рамки технических усовершенствований. Он носит институциональный характер. Многочисленные примеры из Узбекистана, Казахстана, Кыргызстана и Таджикистана демонстрируют, что даже самые точные спутниковые данные и сложные алгоритмы машинного обучения остаются невостребованным потенциалом, если они не встроены в работающую систему управления. Создание разрозненных «пилотов» — необходимый, но лишь первый шаг.

Институты и инфраструктура данных

Устойчивый успех достигается там, где технические решения подкрепляются созданием единой инфраструктуры пространственных данных. Опыт Узбекистана, Казахстана и Кыргызстана показывает: национальные геопорталы решают фундаментальную задачу — преодолевают ведомственную разобщённость. Единая платформа обеспечивает прозрачность, воспроизводимость оценок и вовлечение науки и общества.

Особую ценность представляет интеграция современных технологий с традиционными знаниями. Кыргызский опыт доказал: привлечение местных пастбищных сообществ к сбору данных через мобильные приложения и обучение алгоритмов на этих данных позволяет достичь точности, недоступной при использовании только «глобальных» продуктов.

От индикаторов — к диагностике и стратегии

Адаптация методологии потребовала уточнения подходов к использованию индикаторов. Глобальный набор из трёх субиндикаторов задаёт общую рамку оценки, однако для корректной интерпретации результатов в региональных условиях требуется применение дополнительных процедур обработки данных, рассмотренных в представленных практических кейсах. Вместе с тем для обоснования управленческих решений необходима более детальная диагностика, ориентированная на конкретные типы земель и механизмы деградации.

В связи с этим в Практикуме представлен набор дополнительных апробированных индикаторов, позволяющих адаптировать мониторинг к специфике основных типов угодий региона — пастбищ, орошаемых земель, пустынных и тугайных лесов, а также горных и предгорных зон. Так, для пастбищных территорий важны показатели качества травостоя (проективное покрытие, доля кормовых и нежелательных видов), а также отдельные параметры дистанционного зондирования (включая радарные характеристики, например когерентность, для уточнения типов поверхностей и состояния песчаных массивов). Для орошаемых массивов ключевую роль играют индикаторы засоления (например, SI), данные о состоянии коллекторно-дренажной сети и измерения электропроводности почв (EC) для калибровки и валидации моделей. Для горных и предгорных зон приоритетными являются

показатели эрозионной опасности и фактического смыва, а также использование данных БПЛА для детального мониторинга уязвимых участков, включая террасированные склоны.

Применение указанных индикаторов в сочетании с анализом долгосрочных трендов создаёт основу для формирования дифференцированных стратегий управления — от реагирования на зоны с выраженной деградацией до превентивных мер по укреплению устойчивости и сохранению земельных ресурсов.

Такой подход расширяет функциональные возможности концепции НБДЗ, позволяя использовать её не только в целях добровольной международной отчётности, но и как инструмент обоснованного планирования инвестиций и определения приоритетных территорий для восстановления и устойчивого управления.

Кадровый потенциал и региональное сотрудничество

Ограниченность кадровых ресурсов в сфере ГИС и дистанционного зондирования остается актуальной задачей для большинства стран региона. Вместе с тем проведённый анализ позволяет выделить национальные направления специализации: развитая академическая база в Казахстане, опыт институционализации компетенций в Кыргызстане, практические наработки по полевой валидации в Узбекистане и Таджикистане.

Такая дифференциация создаёт предпосылки для формирования региональной системы обмена знаниями и подготовки кадров, основанной на взаимном дополнении компетенций и выработке согласованных стандартов профессиональной подготовки.

От пилотов — к национальной системе и прогнозу

В регионе сформированы основные предпосылки для реализации подходов НБДЗ. Следующим этапом представляется переход от отдельных пилотных инициатив к устойчивым национальным системам мониторинга, основанным на межведомственной координации, развитой инфраструктуре пространственных данных и системной подготовке кадров. Такой переход создаёт условия для смещения акцента от фиксации последствий деградации к более проактивному и стратегически ориентированному управлению земельными ресурсами. Детальный анализ соответствующих направлений и механизмов представлен в заключительной IV части Практикума.

ЧАСТЬ IV. СИНТЕЗ МЕТОДОЛОГИИ: УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ НБДЗ И ДОРОЖНАЯ КАРТА ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Введение: От адаптации — к целостной системе

В предыдущих частях последовательно рассмотрены фундаментальные положения глобальной методологии НБДЗ (Часть I), проведён анализ её применения в специфических условиях Центральной Азии (Часть II) и представлены практические решения и региональные кейсы (Часть III).

Проведённый анализ показывает, что механическое воспроизведение глобальных подходов без учёта регионального контекста может ограничивать точность и практическую применимость результатов. Высокая межгодовая климатическая изменчивость, исторически сформированная структура землепользования, специфические деградационные процессы (включая феномен «зелёной деградации») и институциональная фрагментация систем мониторинга обуславливают необходимость системной адаптации методологии.

Заключительная часть Практикума посвящена этапу синтеза. Её цель — представить не отдельные методические элементы, а интегрированный и усовершенствованный алгоритм оценки НБДЗ, опирающийся на положения глобальной методологии, одновременно учитывающий особенности природных и социально-экономических условий Центральной Азии.

Ключевым элементом предлагаемого подхода является переход к использованию **динамической базовой линии**, что расширяет аналитические возможности оценки, включая анализ устойчивых трендов, выявление скрытых факторов деградации и формирование обоснованных прогнозных сценариев.

В данной части подробно рассматриваются этапы предлагаемого алгоритма, а также особенности его применения в зависимости от **масштаба оценки** (национального, субнационального, локального) и **отраслевой специфики** (орошаемая и богарная пашня, пастбища, лесные экосистемы). Систематизируются предложения по выбору индикаторов, применимых на каждом уровне анализа. Раздел завершается формированием ориентировочной «дорожной карты» дальнейшего развития методологии НБДЗ, включая направления, требующие дополнительной проработки и углублённых совместных исследований стран региона. Важно отметить, что предлагаемый алгоритм должен рассматриваться как инструмент для дополнительной интерпретации и регионального планирования, а не в качестве замены официальной отчетности, предоставляемой странами на международном уровне.

Глава 19. Поэтапный алгоритм регионально адаптированной интерпретации результатов оценки НБДЗ для Центральной Азии

Предлагаемый алгоритм базируется на четырех ключевых принципах, вытекающих из анализа Частей II и III:

1. **Дополнение фиксированной базовой линии** анализом динамики по временному ряду: официальный базовый период сохраняется как точка отсчета для отчетности, тогда как анализ более длинных временных рядов используется для выявления территориальной нормы, климатических флуктуаций, повторяемости процессов и устойчивых деградиационных трендов.
2. **Многоуровневость (Tiered Approach):** от глобального скрининга (Tier 1) к углубленной диагностике с национальными данными (Tier 2) и точным измерениям на местах (Tier 3).
3. **Интеграция данных:** объединение данных дистанционного зондирования, наземных исследований, исторических карт и традиционных знаний.
4. **Диагностика механизмов,** а не только фиксация факта деградации, для выбора адекватной стратегии управления.

Общая блок-схема алгоритма представлена на рисунке 45, ниже следует детальное описание каждого этапа.

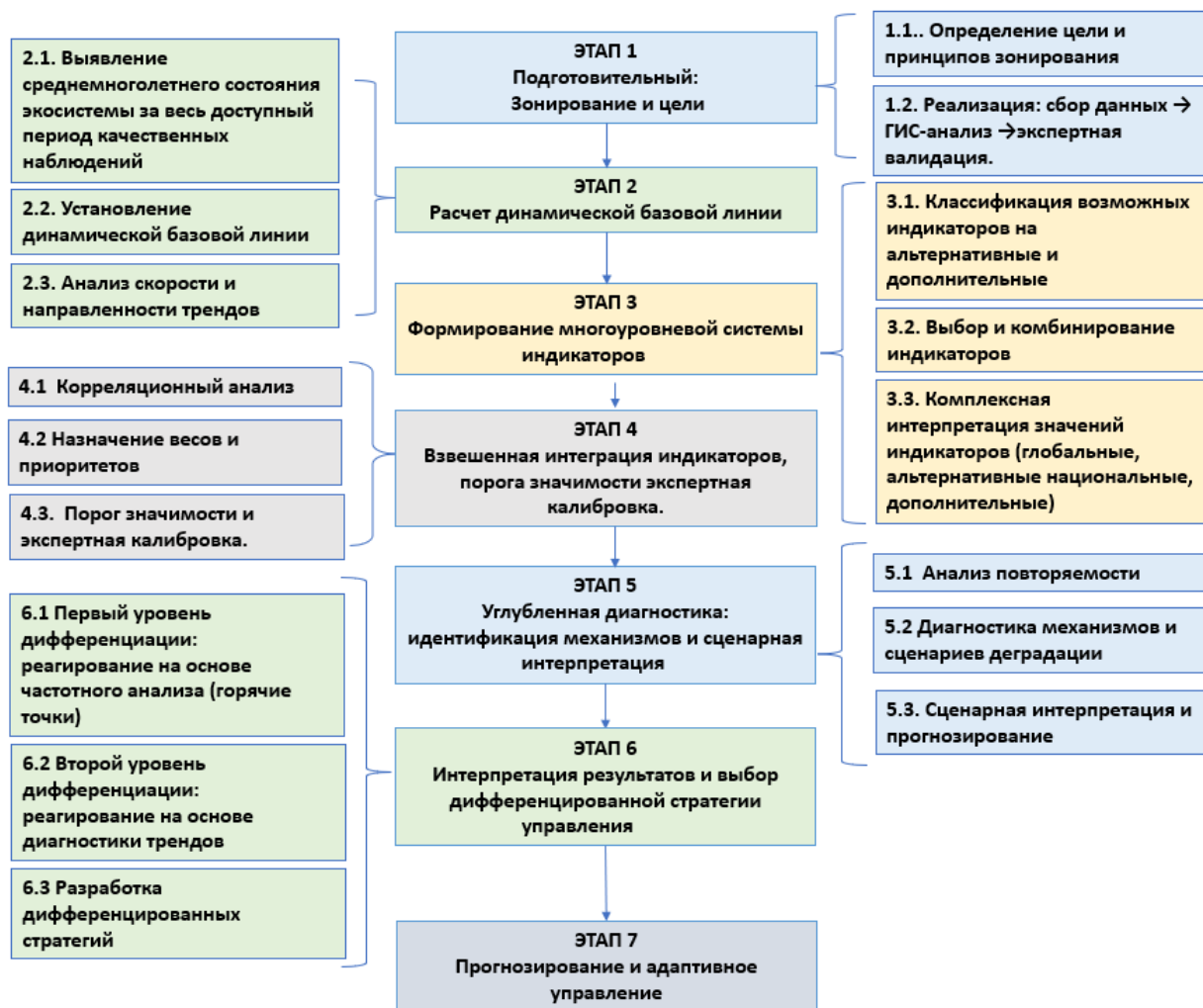


Рисунок 45. Усовершенствованный алгоритм оценки и достижения НБДЗ для условий Центральной Азии

Этап 1. Подготовительный: Зонирование территории и определение целей оценки

Первый этап имеет ключевое методологическое значение, несмотря на то что не предполагает непосредственного расчёта индикаторов. Он связан с концептуальной настройкой системы оценки.

До применения алгоритмов необходимо определить **масштаб и объект оценки** (национальный уровень, отдельный регион, речной бассейн, хозяйственная единица) и чётко сформулировать **цели оценки** — например, подготовка отчетности по индикатору ЦУР 15.3.1, обоснование инвестиций в восстановительные мероприятия или корректировка практик управления, включая пастбищеоборот.

В условиях Центральной Азии, с ее колоссальным ландшафтным разнообразием — от высокогорных лугов Памира до песчаных пустынь Каракумов и густонаселенных оазисов Ферганской долины — применение единых, унифицированных критериев деградации рассматривается как грубая методологическая ошибка. То, что является «нормой» для пустыни (низкий показатель индекса NDVI, разреженный растительный покров), будет

сигналом «катастрофы» для орошаемого поля. То, что является признаком «деградации» для пастбища (смена видового состава), может не фиксироваться глобальным алгоритмом, если формальный класс наземного покрова остаётся неизменным. Поэтому **ключевое действие** состоит в проведении **территориального зонирования**.

1.1. Цель и принципы территориального зонирования

Цель зонирования — разделить территорию на относительно однородные участки (зоны/районы), в пределах которых природные условия, доминирующие типы землепользования и, следовательно, лимитирующие факторы деградации схожи (например, «пустынные пастбища», «предгорные сухие степи», «орошаемые оазисы», «горные луга»). Это позволяет для каждой зоны установить свои «правила игры»: свои пороговые значения индикаторов, свою матрицу переходов и свой набор приоритетных национальных индикаторов.

Зонирование целесообразно осуществлять на основе двух взаимодополняющих групп критериев, рассматриваемых во взаимосвязи:

1. Природные (ландшафтно-экологические) критерии:

- Биоклиматический потенциал: В первую очередь, это показатель аридности/увлажнения (например, коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова, гидротермический коэффициент Селянинова, индекс аридности Де Мартона). Именно он определяет «нормальный» диапазон продуктивности для данной территории.
- Почвенные условия: Тип почв, гранулометрический состав, наличие признаков «генетической памяти» (например, засоленность почвообразующих пород), степень дренированности.
- Рельеф: Равнинный, предгорный, горный, крутизна склонов (критический фактор для эрозии).

2. Антропогенные (хозяйственные) критерии:

- Доминирующий тип землепользования: Орошаемая пашня, богарная пашня, отгонное пастбище, присельное пастбище, лесной фонд (включая саксаульники), земли запаса, и другие угодья или классы наземного покрова, важные для анализируемой территории.
- Институциональные условия: Преобладающие формы землевладения (частная собственность, аренда, общинное пользование), наличие пастбищных комитетов, близость к крупным населенным пунктам (фактор нагрузки).

Результатом наложения этих критериев является карта территориального зонирования, где каждый выдел (район) имеет свой уникальный «паспорт».

1.2. Почему без зонирования невозможна корректная оценка НБДЗ?

Необходимость этого этапа диктуется тремя ключевыми проблемами, выявленными в Части II:

1. Проблема «разных норм» (калибровка продуктивности). Глобальный индикатор продуктивности земель использует единые алгоритмы для расчета трендов NDVI. Но снижение NDVI на 10% в зоне сухих степей может быть катастрофическим трендом, свидетельствующим о нарушении состояния пастбища, в то время как в зоне пустынь такое же снижение может укладываться в рамки естественной многолетней цикличности. Зонирование позволяет установить для каждого природного района свои референсные значения и пороги значимости изменений, без чего анализ трендов (Этап 5) теряет смысл.

2. Проблема интерпретации переходов (калибровка матриц). Глобальная матрица переходов классов земель (например, из Trends.Earth) дает одинаковую оценку для одного и того же типа смены наземного покрова по всему миру, что может не подходить для конкретных территорий. Как было показано в представленных кейсах, переход классов «пашня орошаемая → залежь» не может оцениваться одинаково в предгорьях (где это может быть временным явлением) и в низовьях Амударьи (где это часто результат необратимого засоления). Зонирование позволяет привязать национальные адаптированные калиброванные матрицы переходов к конкретным территориям. Для зоны «орошаемых земель с высоким риском засоления» приведенный пример перехода получит статус «деградация», а для зоны «предгорного богарного земледелия» — «нейтральный».

3. Проблема выбора приоритетных индикаторов. Три глобальных прокси-индикатора являются обязательными, но недостаточными для диагностики механизмов деградации земель на региональном уровне. Набор дополнительных индикаторов должен быть «зонально-специфичным».

- Для зоны орошаемого земледелия приоритетными дополнительными индикаторами могут служить: индекс засоления (SI), глубина залегания грунтовых вод, состояние коллекторно-дренажных систем.
- Для зоны пустынных пастбищ — проективное покрытие, доля съедобных растений, данные радарной когерентности для оценки закрепленности песков.
- Для горных зон — эрозионные индексы (RUSLE), данные БПЛА о состоянии террас.

1.3. Практическая реализация

1. **Разработку карты** территориального зонирования целесообразно рассматривать не как разовую исследовательскую инициативу, а как основу для формирования устойчивой нормативно-методической базы. Представляется обоснованным её официальное утверждение уполномоченным государственным органом (например, Министерством сельского хозяйства или профильным земельным ведомством) с последующим использованием в качестве базового документа для национальной отчетности по НБДЗ. Разработку карты зонирования рекомендуется осуществлять в межведомственном формате с участием научных и отраслевых экспертов, обеспечивая согласование подходов и данных.
2. **Сбор данных:** Агрометеорологические справочники, почвенные карты крупного масштаба (хранящиеся в фондах проектных институтов типа ГИПРОЗем в Казахстане или «Узгипрозем»), данные земельного кадастра, карты геоботанических обследований.

3. **ГИС-анализ и оцифровка:** Современные ГИС-инструменты позволяют наложить эти разрозненные слои друг на друга и выделить границы относительно однородных территорий.
4. **Экспертная валидация:** Полученная карта в дальнейшем обсуждается с региональными экспертами — почвоведом, агрономом, пастбищеводом, представителями местных сообществ. Их знание локальных особенностей является бесценным для корректировки границ, определенных автоматизированными методами.

Вывод: Территориальное зонирование — это не бюрократическая формальность, а создание «системы координат» для всей последующей работы. Оно позволяет перейти от унифицированного глобального шаблона к гибкой, ландшафтно-адаптированной системе оценки. Без этого этапа использование динамической базовой линии (Этап 2) и анализ трендов (Этап 5) будут оперировать цифрами, лишенными привязки к реальному природному и хозяйственному контексту, что неизбежно приведет к ошибочным управленческим решениям.

Этап 2. Переход к динамической базовой линии: установление «территориальной нормы» и переход к анализу трендов

Второй этап является важным элементом предлагаемой регионально адаптированной методологии, поскольку позволяет дополнить фиксированную базовую линию анализом более длинных временных рядов. Такой подход не заменяет установленный базовый период, используемый в рамках официальной отчетности, а расширяет возможности интерпретации результатов за счет учета долгосрочной динамики состояния земель. Как было показано в Части II и проиллюстрировано в кейсах Части III, в условиях высокой межгодовой климатической изменчивости Центральной Азии анализ более продолжительных временных рядов позволяет снизить чувствительность результатов к выбору отдельных периодов оценки и лучше учитывать влияние засушливых и влажных лет, а также отличать краткосрочные климатические флуктуации от устойчивых долгосрочных трендов деградации или восстановления земель.

2.1. Что такое динамическая базовая линия?

В дополнение к сопоставлению состояния земель между двумя фиксированными периодами (например, «базовый» 2001-2015 и сравнения (2018-2022)), предлагается использовать в качестве реперной линии **средненоголетнее состояние экосистемы за весь доступный период наблюдений**. Это состояние рассматривается как «территориальная норма» или «исторический диапазон изменчивости» для каждого конкретного пикселя или однородного участка.

Ключевое отличие заключается в том, что динамическая базовая линия:

- **Не имеет единой календарной даты.** Это не «точка» или «период» в прошлом, а статистическая характеристика (среднее, медиана).
- **Индивидуальна для каждого пикселя.** Она учитывает природный потенциал конкретного участка: для пустынного пастбища норма NDVI будет одна, для предгорного луга — другая.

- **Является «гибкой».** По мере накопления новых данных (например, каждые 5 лет) среднесрочная норма может пересчитываться, что позволяет учитывать долгосрочные климатические тренды (например, вековую аридизацию).

2.2. Метод установления: от сглаживания к норме

Процедура определения динамической базовой линии включает несколько обязательных шагов.

Шаг 1. Формирование полного временного ряда. Для анализа используются все доступные безоблачные спутниковые данные за максимально продолжительный период наблюдений. Для регионального и национального уровней это ряды данных MODIS (с 2000 г., разрешение 250 м) или AVHRR (с 1980-х). Для локального уровня могут использоваться данные Landsat (с 1980-х, 30 м) и Sentinel (с 2015 г., 10 м).

Шаг 2. Сглаживание и фильтрация климатического шума. Годовые данные NDVI и других индексов содержат сильные флуктуации, связанные с засухами и влажными периодами. Чтобы отделить этот «шум» от сигнала, рекомендуются методы сглаживания.

- **Основной метод:** Расчет скользящего среднего (moving average) с пересекающимися окнами продолжительностью, например, в 3–5 лет. Это позволяет получить сглаженную кривую, отражающую среднесрочную динамику.
- **Дополнительный метод:** Использование сглаживающих фильтров (например, фильтр Ходрика-Прескотта), которые позволяют выделить во временном ряду трендовую и циклическую компоненты.

Шаг 3. Расчет «территориальной нормы». За реперную линию (условный «0») принимается среднее арифметическое (или медианное) значение сглаженного ряда за весь период наблюдений. Например, для региона с данными с 2000 по 2025 год нормой будет среднее значение сглаженного NDVI за эти 26 лет. Эта величина представляет собой долгосрочный продукционный потенциал экосистемы в условиях современного климата.

Шаг 4. Оценка отклонений для отчетных периодов. На этом шаге оценивается состояние земель не «относительно 2015 года», а относительно этой долгосрочной нормы. Для каждого отчетного периода (например, пятилетия 2021–2025 гг.) рассчитывается среднее сглаженное значение за эти годы и вычисляется его отклонение (в процентах/долях) от установленной нормы.

2.3. Новый индикатор: тренд как мера деградации

Использование полного временного ряда открывает возможность для самого важного шага — **количественного анализа трендов**. Именно здесь происходит смена главного индикатора.

При статическом подходе главным индикатором является соотношение площадей: сколько гектаров перешло в категорию «деградированные», а сколько — в «улучшенные». Однако этот показатель не говорит нам о скорости и устойчивости процесса.

В обновленной системе главным индикатором деградации земель становится не площадь, а скорость и направленность изменений, выраженные через коэффициенты регрессионного уравнения.

Как это работает:

Для каждого пикселя (или для каждой зоны, полигона) строится линия тренда по сглаженному временному ряду ключевого показателя (например, отклонения NDVI от нормы, доли деградированных или улучшенных земель, Индекса НБДЗ). Используется метод линейной регрессии, где:

- $Y = a + b * X$
 - Y — значение показателя (например, доля деградированных земель в %);
 - X — время (год, порядковый номер в ряду наблюдений);
 - b — коэффициент регрессии, или угол наклона линии тренда.

Интерпретация коэффициента b приведена для тренда изменения доли деградированных земель; для тренда изменения доли улучшенных земель применяется обратная интерпретация.

- b (тренд деградации) > 0 : Доля деградированных земель систематически растет. Скорость роста (в % площади в год) численно равна значению коэффициента. Это и есть главный индикатор наступающей деградации. Чем больше значение b , тем агрессивнее процесс.
- b (тренд улучшения) > 0 : Доля улучшенных земель систематически растет. Это индикатор устойчивого восстановления.
- $b \approx 0$: Система находится в состоянии динамического равновесия (стабильность), несмотря на возможные межгодовые колебания.
- Отрицательный b для Индекса НБДЗ. Означает, что баланс смещается в сторону деградации, и это происходит с определенной скоростью.

2.4. Почему тренд важнее площади?

Рассмотрим два гипотетических района (А и Б). В обоих по результатам оценки за период 2015-2025 гг. доля деградированных земель увеличилась на 5%. Стандартный статический подход скажет, что они в равной степени нуждаются во внимании.

Однако, анализ трендов может продемонстрировать принципиальную разницу:

- Район А: Деградация произошла резко в первые 2 года из-за экстремальной засухи, а затем стабилизировалась. Коэффициент b за весь 10-летний период будет небольшим, а прогноз на будущее — стабильный.
- Район Б: Площадь деградации неуклонно растет каждый год на 0,5%. Коэффициент b здесь будет положительным и статистически значимым. Это сигнал о хроническом, продолжающемся процессе, требующем срочного вмешательства.

Вывод: В условиях высокой природной изменчивости Центральной Азии именно устойчивый тренд (значимый коэффициент b), а не разовое изменение площади, является надежным индикатором антропогенной или долгосрочной природной деградации. Установление динамической базовой линии и последующий анализ трендов позволяет нам перейти от вопроса «сколько деградировало?» к гораздо более важному для управления вопросу: «с какой скоростью и в каком направлении развивается процесс?» Это, в свою

очередь, позволяет количественно обосновывать прогнозы и рассчитывать необходимые масштабы компенсационных мероприятий

Этап 3. Многоуровневая система индикаторов: от глобального скрининга к локальной диагностике

Третий этап является техническим ядром всей оценки. На этом этапе производится расчет не только трех обязательных глобальных субиндикаторов НБДЗ, но и, что критически важно для Центральной Азии, проводится их верификация и дополнение с помощью национальных и локальных данных. Ключевой принцип здесь — **многоуровневость (Tiered Approach)** и **отраслевая специфичность**.

Соответственно, целесообразно дополнять единый набор глобальных индикаторов специализированными показателями, особенно на местном уровне или уровне небольших районов. Вместо этого, для каждого уровня управления и для каждого типа угодий предлагается использовать свой, оптимальный набор измеримых показателей.

3.1. Классификация индикаторов: альтернативные и дополнительные

Прежде чем перейти к спискам, важно разделить индикаторы по их функции по отношению к глобальной методологии.

Альтернативные индикаторы (заменяющие глобальные прокси): это национальные показатели, которые напрямую измеряют тот же процесс, что и глобальный субиндикатор, но с большей точностью и релевантностью, поскольку глобальные данные (например, SoilGrids для углерода) часто имеют неприемлемую погрешность на национальном уровне.

- Пример: Вместо расчета запасов почвенного углерода по глобальным таблицам и классам покрова (Tier 1), могут быть использованы данные агрохимического обследования пахотных земель с прямым измерением содержания гумуса (Tier 2/3).

Дополнительные индикаторы (расширяющие диагностику): это показатели, которые не входят в триаду глобальных индикаторов, но критически важны для понимания *механизмов* деградации в конкретных условиях региона. Глобальные индикаторы могут показать, что *что-то* происходит (например, продуктивность падает), но не объясняют *почему* (засоление, эрозия, смена видового состава). Дополнительные индикаторы дают ответ на вопрос «почему?», отражая процессы и режимы.

- Пример: Индекс засоления (SI), рассчитанный по Sentinel-2, является дополнительным индикатором к продуктивности (NDVI). Он объясняет причину падения урожайности на орошаемом поле.

3.2. Детализированный набор индикаторов для разных уровней оценки

В таблице 10 представлен расширенный и систематизированный перечень индикаторов, сгруппированных по уровням оценки (Tier 1, 2, 3) и по типам землепользования. Этот список не является исчерпывающим, но охватывает наиболее апробированные и рекомендованные для региона показатели.

Таблица 10. Расширенная система возможных индикаторов НБДЗ для Центральной Азии

Уровень / Тип угодий	Глобальные субиндикаторы (обязательные)	Примеры альтернативных индикаторов (дополнительные региональные)	Примеры дополнительных индикаторов (локальные диагностические)	Источники данных / Методы получения
Tier 1 (Национальный)	Базовые субиндикаторы SDG 15.3.1: 1. Продуктивность (NDVI trend/state) 2. Наземный покров (классы LCCS) 3. Почвенный углерод (IPCC Tier 1)	• Урожайность основных культур (ц/га) по стат. отчетности • Поголовье скота (усл. гол.) • Доля орошаемых земель в общем фонде	• Индекс аридности (засухи) • Индекс НБДЗ (баланс улучшений/деградаций) • Частота пыльных бурь (кол-во дней)	Trends.Earth, FAOSTAT, национальные стат. сборники, данные гидрометов
Tier 2 (Субнациональ- ный: область/район)	Верифицируются и калибруются национальными данными			
<i>Для всех типов</i>	• Продуктивность (NDVI по Landsat/Sentinel) • Наземный покров (уточненные классы по данным кадастра)	• Балл бонитета почв (интегральная оценка плодородия) • Продуктивность пастбищ (корм. ед./га по геоботаническим картам) • Содержание гумуса (%) в пахотном слое (альтернатива углероду)	• Коэффициент регрессии (b) для доли деградированных земель (скорость процесса) • Карты повторяемости деградации (частотный анализ)	Landsat/Sentinel-2, данные земельного кадастра, геоботанические карты, агрохимические обследования (раз в 5-10 лет)
<i>Пашия орошаемая</i>		• Содержание гумуса (%) в пахотном слое (альтернатива углероду)	• Спектральные индексы засоления (SI, NDSI) • Глубина залегания грунтовых вод (м) • Минерализация грунтовых вод (г/л) • Доля дренируемых площадей (%)	Sentinel-2, полевые кондуктометры, данные мелиоративных кадастров
<i>Пашия богарная</i>		• Запасы продуктивной влаги в почве (мм)	• Эрозионный индекс (RUSLE) — расчетный смыл (т/га в год) • Доля эрозионно-опасных склонов (>2°) • Содержание подвижного фосфора и калия (мг/кг)	Цифровые модели рельефа (SRTM, ALOS), полевые обследования, данные агрохимслужб
<i>Пастбища (равнинные и пустынные)</i>		• Продуктивность надземной массы (ц/га)	• Проективное покрытие почвы растительностью (%) • Доля ценных кормовых видов (%) (в поле) • Индекс пастбищной нагрузки (факт/норма) • Доля открытых/слабозакрепленных песков (по данным радарной когерентности)	Полевые трансекты, данные пастбищных комитетов, Sentinel (когерентность), MODIS NDVI

Уровень / Тип угодий	Глобальные субиндикаторы (обязательные)	Примеры альтернативных индикаторов (дополнительные региональные)	Примеры дополнительных индикаторов (локальные диагностические)	Источники данных / Методы получения
Пастбища (горные и высокогорные)		• Продуктивность (по укосам на ключевых участках)	• Высота травостоя (см) • Наличие эрозионных форм (промоин, смыл) — балльная оценка • Доля площадей с нарушенной дерниной (%)	БПЛА, полевая верификация (метод PRAGA), данные пастбищных комитетов
Лесные земли (саксаульники, тугаи)		• Лесистость территории (%) • Запасы древесины (м³/га)	• Сомкнутость крон/проективное покрытие (%) • Породный состав (доля коренных видов) • Наличие и состояние лесополос (погектарно/линейные объекты)	Данные лесного кадастра, Sentinel-2, БПЛА
Tier 3 (Локальный: хозяйство, пастбищный комитет)	Точные измерения, прямая поддержка принятия решений			
Для всех типов	Все вышеперечисленные индикаторы, но с максимальной детализацией и привязкой к конкретным участкам.	• Урожайность (ц/га) конкретного поля	• Карты засоления (по SI) с разрешением 10 м • Карты видового состава пастбищ (по данным БПЛА/нейросетей) • Электропроводность почвы (EC), dS/m (полевые измерения) • Глубина залегания грунтовых вод в наблюдательных скважинах (м)	БПЛА (ортофото, мультиспектр), полевые почвенные разрезы, мобильные приложения (KoboToolbox, ODK) для сбора данных, данные пастбищных комитетов

3.3. Как выбирать и комбинировать индикаторы: практические примеры

Приведенная выше таблица может показаться сложной на первый взгляд, поэтому ниже даны примеры того, как на практике может формироваться «пакет» индикаторов для конкретных ситуаций.

Пример 1: Национальная отчетность по ЦУР 15.3.1 для Казахстана

- **Уровень:** Tier 1
- **Индикаторы:** Три глобальных субиндикатора (Trends.Earth) + альтернативные (данные статсборников по урожайности и поголовью) + дополнительные (Индекс НБДЗ по областям, карта нагрузки на пастбища с портала КазНИИЖиК).
- **Цель:** Предоставить официальные данные добровольной отчетности в КБО, показав при этом, что страна использует не только глобальные прокси-индикаторы, но и собственные национальные системы мониторинга.

Пример 2: Разработка программы борьбы с засолением на орошаемых землях в Бухарской области (Узбекистан)

- **Уровень:** Tier 2
- **Индикаторы:**
 - *Глобальный (продуктивность):* Тренды NDVI по Landsat за 25 лет (выявление зон падения продуктивности).
 - *Альтернативный (углерод/плодородие):* Данные агрохимических обследований по содержанию гумуса и подвижных элементов минерального питания растений: сведения об агроистощении.
 - *Дополнительный (диагностический):* Индекс засоления (SI) по Sentinel-2, наложенный на карту глубин залегания грунтовых вод из мелиоративного кадастра.
- **Результат:** Выявление участков, где падение продуктивности (низкий NDVI) коррелирует с высокими индексами засоления и близкими грунтовыми водами. Это обосновывает инвестиции не просто в «повышение урожайности», а в конкретные мелиоративные мероприятия (ремонт дренажа, промывка, гипсование).

Пример 3: Управление пастбищами в Нарынской области (Кыргызстан)

- **Уровень:** Tier 3
- **Индикаторы (метод PRACA):**
 - *Простые полевые:* Проективное покрытие (%), высота травостоя (см), доля съедобных растений (%), наличие семян (да/нет), признаки эрозии (да/нет).
 - *Спутниковые (верифицированные):* Карты, построенные нейросетью на основе полевых данных, показывающие вероятность распространения не поедаемых видов по урочищам.
- **Результат:** Пастбищный комитет получает карту, на которой красным цветом отмечены не просто «деградированные» участки, а участки, *заросшие ядовитыми травами*. Решение: изменить сроки выпаса или провести подсев ценных трав не по всему пастбищу, а в конкретных местах.

3.4. Принцип интеграции: от индикаторов — к решению

Ключевой вывод этого этапа заключается в том, что **ценность представляет не сам по себе индикатор, а его интерпретация в связке с другими**. Приоритетным направлением является формирование системы, где:

1. **Глобальные индикаторы** дают первичный сигнал (где нестабильно?).
2. **Альтернативные национальные индикаторы** подтверждают и уточняют этот сигнал, заменяя грубые прокси точными измерениями.
3. **Дополнительные индикаторы** объясняют причину (почему это происходит?) и помогают выбрать правильный инструмент из иерархии «Избегать-Сокращать-Восстанавливать».

Такой комплексный подход позволяет перейти от констатации факта деградации к обоснованному планированию мер по ее предотвращению и восстановлению земель, что и является конечной целью всей концепции НБДЗ.

Этап 4. Дополнительная интерпретация интегральной оценки: анализ избыточности индикаторов, чувствительности результатов и приоритизация мер без замены принципа 1ОАО

Четвертый этап посвящен критически важной процедуре — сведению разнородной информации от множества индикаторов (трех глобальных и целого ряда дополнительных) к единому решению о статусе земельного участка: является ли он деградированным, улучшенным или стабильным. Глобальная методология предлагает для этого простой и консервативный принцип «**полного охвата**» (**One-Out, All-Out — 1ОАО**). Однако, как показывает опыт применения в Центральной Азии, техническое применение принципа 1ОАО к расширенному набору дополнительных индикаторов может повышать риск переучета одних и тех же процессов.

4.1. Принцип «полного охвата» (1ОАО): консервативный подход

Принцип 1ОАО (*One-Out, All-Out*, или правило «полного охвата»), описанный в *Good Practice Guidance* [66] и рассмотренный в первой части Практикума, остается базовым правилом интеграции трех основных субиндикаторов ЦУР 15.3.1. На данном этапе он используется как отправная точка для последующей интерпретации результатов, анализа причин деградации и выбора приоритетных управленческих мер.

4.2. Проблема избыточности и неоправданного завышения площади деградации

Однако при переходе на национальный и субнациональный уровни, где используется расширенный набор дополнительных индикаторов (см. Этап 3), принцип 1ОАО начинает давать сбои. Чем больше индикаторов мы включаем в оценку, тем выше вероятность того, что хотя бы один из них покажет «сигнал», даже если реальной или существенной деградации нет. Это приводит к эффекту **неоправданного завышения расчетной доли деградированных земель**.

Корень проблемы — в корреляции или избыточности индикаторов. Многие из них не являются независимыми, а описывают одни и те же процессы с разных сторон. В условиях Центральной Азии это проявляется особенно ярко:

- Пример 1 (пастбища): Глобальный индикатор «Динамика продуктивности» (тренд NDVI) и дополнительный индикатор «Доля ценных кормовых видов» часто тесно связаны. Падение NDVI на пастбище в 95% случаев сопровождается ухудшением видового состава. Включение обоих индикаторов в оценку по правилу 1ОАО не даст новой информации, но формально удвоит «вес» проблемы, хотя, по сути, мы дважды учитываем один и тот же деградационный процесс.
- Пример 2 (орошаемые земли): Индекс засоления (SI) и падение продуктивности (NDVI) также коррелируют, но с временным лагом. Засоление может быть уже высоким, а высокий показатель NDVI еще обеспечивается за счет внесения удобрений. В этом случае индикаторы дают разную, но взаимодополняющую информацию. Исключать один из них нельзя. При этом индекс засоления (SI) в

данном случае следует рассматривать прежде всего как дополнительный индикатор раннего предупреждения и диагностики риска. Он может указывать на процесс деградации до того, как он проявится в снижении NDVI, однако его использование для изменения официального статуса участка в рамках ЦУР 15.3.1 требует отдельного национального методологического решения, документирования пороговых значений, источников данных и процедуры верификации. В противном случае SI должен применяться для интерпретации и приоритизации мер, но не как автоматический самостоятельный критерий официальной деградации.

Ключевой вывод из региональных исследований: Как показано в ряде работ [29, 35, 36], для пахотных земель и пастбищ Центральной Азии глобальный индикатор «Динамика продуктивности» в 95% случаев определяет итоговый статус интегрального индикатора ЦУР 15.3.1 для участка по правилу 1ОАО. Это может означать, в ряде случаев он в значительной степени определяет итоговую оценку. Добавление других индикаторов без учета их взаимосвязи может привести к тому, что может возникнуть риск переоценки площади деградации вследствие учета статистически нестабильных или взаимозависимых сигналов.

4.3. Предлагаемое решение: анализ «весов» и введение порогов значимости

Для того чтобы сохранить чувствительность метода, но избежать неоправданного завышения, предлагается использовать модифицированную процедуру интеграции на национальном и субнациональном уровнях, введя в нее элементы анализа математического веса индикаторов. Это не отказ от принципа 1ОАО, а его дополнительная аналитическая настройка и дополнительная взвешенная оценка для приоритизации и анализа чувствительности, не заменяющая 1ОАО.

Процедура взвешенной интеграции включает следующие шаги:

Шаг 1. Корреляционный анализ. На этапе настройки системы для конкретного региона или типа угодий необходимо провести анализ попарной корреляции между всеми используемыми индикаторами (глобальными и дополнительными). Это позволяет выявить группы сильно коррелирующих показателей, которые, по сути, измеряют близкие параметры или процессы.

Шаг 2. Назначение весов и приоритетов. Для каждой группы коррелированных индикаторов определяется «ведущий» индикатор, который имеет наибольшую диагностическую ценность и наименьшую погрешность. Остальные индикаторы из этой группы рассматриваются как подтверждающие, но не дающие самостоятельного права на «вето» по правилу 1ОАО. Например:

- Для пастбищ: ведущий — тренд продуктивности (NDVI), подтверждающие — доля ценных видов, проективное покрытие. Если NDVI стабилен, а видовой состав ухудшился, мы фиксируем *риск* или *начальную стадию* деградации, но не включаем участок в итоговую статистику деградированных земель без дополнительного подтверждения в следующем цикле.
- Для орошаемых земель: ведущий — индекс засоления (SI) как ранний индикатор, подтверждающий — тренд NDVI. Высокий SI при стабильном NDVI — сигнал

тревоги, требующий вмешательства, но формально участок может еще не считаться деградированным по критерию продуктивности.

Шаг 3. Введение порога значимости для дополнительных индикаторов. Для того чтобы дополнительный индикатор мог «перевесить» глобальные и самостоятельно классифицировать участок как деградированный, изменение по нему должно превышать некий, более строгий порог, чем для глобальных. Например, если для глобального индикатора достаточным может быть порог в 10%, то для дополнительного, узкоспециализированного, можно установить порог в 20-30%, чтобы отсеять случайные флуктуации.

Шаг 4. Экспертная калибровка. Окончательные веса и пороговые значения не могут быть определены только статистически. Они должны утверждаться национальными экспертными группами с участием отраслевых специалистов (почвоведов, агрономов, лесоводов, пастбищеводов) на основе понимания значимости того или иного процесса для конкретного типа землепользования.

4.4. Иллюстрация работы взвешенного подхода

Таблица 11. Гипотетический участок орошаемой пашни в низовьях Амударьи.

Индикатор	Значение	Интерпретация по правилу 10АО	Интерпретация по взвешенному подходу
Продуктивность (тренд NDVI)	Стабилен (+1%)	Нет деградации	Ведущий индикатор. Стабилен.
Наземный покров	«Пашня» (без изменений)	Нет деградации	Подтверждающий. Без изменений.
Почвенный углерод (агрохимия)	Снижение на 5%	Нет деградации (<10% порог)	Подтверждающий. Незначительное снижение.
Индекс засоления (SI)	Вырос на 25%	Деградация (по 10АО)	Подтверждающий, но превысил порог (25% > 20%). Включается как сигнал высокого риска.

Результат по стандартному 10АО: Участок деградирован (из-за SI). Площадь деградации учтена.

Результат по взвешенному подходу: Ведущий индикатор (продуктивность) стабилен. Дополнительный индикатор (SI) показывает сильный рост, превышающий повышенный порог значимости.

Вывод: Участок не может быть признан деградированным сегодня, но идентифицируется как зона «критического риска» с прогнозом скорой деградации. Это требует не включения в статистику потерь, а немедленных превентивных мер (улучшение дренажа, промывка). Это более тонкое и полезное для управления решение.

Вывод. Принцип «полного охвата» остается основой интегральной оценки, но на национальном и субнациональном уровнях он должен применяться с учетом корреляции индикаторов. Переход к взвешенной оценке с выделением ведущих и подтверждающих индикаторов и введением дифференцированных порогов значимости позволяет:

1. Избежать неоправданного завышения площади деградированных земель за счет учета избыточных или слабо значимых сигналов.
2. Сохранить высокую чувствительность метода к реальным угрозам.
3. Получить на выходе не просто статистику («деградация есть/нет»), а диагностическую карту, разделяющую территории на уже деградированные и находящиеся в зонах риска, что критически важно для планирования упреждающих, а не только компенсационных мер.

Этап 5. Углубленная диагностика: анализ повторяемости, идентификация механизмов и сценарная интерпретация

Пятый этап является аналитическим ядром всей усовершенствованной методологии. Если на предыдущих этапах мы получили ответы на вопросы «где?» и «насколько сильно?» изменилась ситуация, то на этом этапе мы должны ответить на ключевые вопросы для управления: «носит ли проблема хронический характер?», «каков доминирующий механизм деградации?» и «какой сценарий развития событий нас ожидает?». Ответы на эти вопросы позволяют перейти от унифицированных мер к дифференцированным стратегиям, описанным в Этапе 6.

Диагностика включает в себя три последовательные аналитические процедуры, каждая из которых дает свой срез информации. Первая из них — анализ трендов — была подробно рассмотрена в Этапе 2.

5.1. Анализ трендов: скорость и направленность изменений

Как было детально описано в Этапе 2, использование динамической базовой линии позволяет для каждого пикселя или полигона построить линию тренда по сглаженному временному ряду ключевых показателей (например, доли деградированных земель D, доли улучшенных земель I, или интегрального Индекса НБДЗ). Уравнение линейного тренда

$Y = a + b * X$ дает нам два важнейших параметра:

- **Коэффициент b** — скорость и направление изменения (угол наклона тренда). Положительный b для D означает неуклонное расширение деградации; отрицательный — ее сокращение.
- **Коэффициент a** — расчетное состояние показателя на начало периода наблюдений, интерпретируемое как исходный потенциал территории или «исторический багаж».

Эти коэффициенты служат основой для последующей диагностики механизмов. Однако, прежде чем переходить к ней, необходимо отделить устойчивые, хронические процессы от временных, климатически обусловленных флуктуаций.

5.2. Анализ повторяемости (Frequency Analysis): отделение хронических проблем от климатического шума

Первая специализированная процедура отвечает на вопрос: «Является ли деградация на этом участке устойчивым, повторяющимся явлением или же это результат разовой климатической аномалии?»

Методология анализа «повторяемости» (частотный анализ):

1. Формирование серии временных срезов. Весь доступный период наблюдений разбивается на ряд перекрывающихся или последовательных временных интервалов. Для условий Центральной Азии оптимальным признано использование пятилетних скользящих окон (например, 2001–2005, 2003–2007, 2005–2009, ..., 2018–2022). Длина окна в 5 лет позволяет сгладить годовую климатическую изменчивость, но при этом сохранить чувствительность к среднесрочным трендам.
2. Классификация состояния в каждом «окне». Для каждого пикселя или полигона в каждом из этих пятилетних периодов с помощью интегрального индикатора ЦУР 15.3.1 (с учетом верифицированных и дополнительных индикаторов) определяется статус: «деградация», «улучшение» или «стабильность».
3. Расчет частоты. Для каждого пикселя подсчитывается, в скольких из этих временных периодах (в процентах от общего числа «окон») он классифицировался как «деградированный». Аналогичные расчеты проводятся для статусов «улучшение» и «стабильность».

Интерпретация результатов частотного анализа:

- *«Горячие точки» (Hotspots):* частота деградации > 70%. Это зоны хронической, устойчивой деградации. Здесь негативные процессы доминируют вне зависимости от климатических колебаний. Такие участки требуют безотлагательных и, как правило, капиталоемких мер по восстановлению (стратегия «Reverse»).
- *«Зоны устойчивого восстановления» (Bright Spots):* частота улучшения > 70%. Здесь важно изучить и тиражировать успешные практики землепользования, создавая зоны-образцы для обучения и демонстрации.
- *Перманентно стабильные земли:* стабильные состояния повторяются в 70% случаев и чаще. Здесь приоритет — превентивные меры по предотвращению деградации (стратегии «Avoid» и «Reduce»).
- *Зоны флуктуаций:* все остальные территории (частота деградации и улучшения менее 70%, стабильность также не доминирует). Это зоны, где состояние земель колеблется вслед за погодными условиями или краткосрочными антропогенными воздействиями. Они требуют особого внимания, так как именно здесь при неправильном управлении временные ухудшения могут перерасти в хроническую деградацию. Приоритет — меры по предотвращению (Avoid) и адаптивное управление.

Практическая значимость: Опыт, описанный в кейсах, показывает, что устойчивые очаги деградации («горячие точки») занимают относительно небольшую долю территории (часто менее 5–10%), но оказывают непропорционально большое влияние на общую динамику и являются источником пыльных бурь и потери биоразнообразия. Концентрация ресурсов именно на этих участках дает максимальный эффект.

5.3. Диагностика механизмов и сценариев деградации (на основе совместного анализа коэффициентов a и b)

Вторая процедура отвечает на вопрос: «Как именно протекает процесс? Каков его доминирующий механизм и на каком исходном базисе он развивается?». Для этого рекомендуется использовать полученные на Этапе 2 коэффициенты регрессии, но рассматривать их в системе, учитывая как скорость изменений (b), так и исходное состояние (a).

Коэффициент a может рассматриваться как характеристика исходного потенциала территории, при этом его интерпретация должна учитывать специфику соответствующего типа земель и может различаться для пашни, пастбищ, лесных земель и других категорий.:

- **Высокое значение $a<D>$ (например, $> 20–30\%$):** Территория уже на старте периода имела значительный «исторический шлейф» деградации. Это зона накопленного ущерба, требующая долгосрочных программ восстановления.
- **Низкое значение $a<D>$ (например, $< 5–10\%$):** Исходное состояние благополучное, деградация была минимальна. Это зона с высоким потенциалом, где главная задача — предотвратить потери.
- **Высокое значение $a<I>$:** Территория обладает хорошей способностью к самовосстановлению или на ней уже проводились успешные мероприятия.
- **Низкое значение $a<I>$:** Потенциал восстановления низкий, даже при снятии нагрузки система будет восстанавливаться медленно.

Комбинируя эти четыре параметра ($a<D>$, $a<I>$, $b<D>$, $b<I>$), можно получить более тонкую диагностику, чем при анализе только трендов. Ниже представлена расширенная типология сценариев, основанная на материалах практических кейсов.

Таблица 12. Расширенная диагностика механизмов деградации с учетом исходного потенциала (*I* - улучшение (*improvement*), *D* – деградация (*degradation*))

Сценарий	Диагностические признаки (сочетание а и b)	Интерпретация механизма и результата	Стратегия управления
1. Кризисное наступление (Crisis Onset)	$a < D$ — низкий (исходно хорошо), $b < D > \gg 0$ (резкий рост). $a < I$ может быть высоким, но $b < I$ падает.	Территория с высоким потенциалом внезапно подвергается мощному деградационному прессу. Кризис развивается на «здоровом» теле. Требуется немедленной реакции, пока потенциал не утрачен безвозвратно.	Экстренное реагирование (Emergency Reverse), направленное на снижение агрессивной деградации для сохранения исходно высокого потенциала.
2. Хроническое истощение (Chronic Exhaustion)	$a < D$ — средний или высокий (уже есть проблемы), $b < D > > 0$ (медленный рост). $a < I$ — низкий, $b < I > < 0$ (способность к восстановлению падает).	Система медленно, но верно теряет остатки устойчивости. Позитивные процессы сжимаются. Типично для территорий с долговременной историей перевыпаса или неправильной мелиорации.	Стабилизация и поэтапное восстановление (Reduce + Targeted Reverse), направленное как на улучшение плохого исходного состояния (отрицательный а), так и на снижение усугубивших его негативных трендов.
3. Системный коллапс (Systemic Collapse)	$a < D$ — высокий, $b < D > > 0$ (деградация расширяется). $a < I$ — низкий, $b < I > < 0$ (восстановление сокращается).	Худший сценарий. Территория изначально проблемная, деградация и снижение потенциала продолжается, не имея ресурсов для восстановления.	Комплексная реабилитация (Comprehensive Reverse). Требуются «тяжелые» инвестиции, сочетающие срочные и долгосрочные меры в комбинированном сценарии.
4. Потенциально-устойчивое	$a < D$ — низкий, $b < D > \approx 0$ (деградации нет и не появляется).	Территория находится в равновесии, имеет хороший потенциал. Главная задача — не допустить появления негативных трендов.	Превентивная защита (Avoid). Устойчивое управление, мониторинг для раннего обнаружения угроз.

Сценарий	Диагностические признаки (сочетание а и b)	Интерпретация механизма и результата	Стратегия управления
равновесие (Potentially Stable)	$a<I>$ — может быть разным, $b<I> \approx 0$.		
5. Хрупкое равновесие на низком уровне (Fragile Low- Level Equilibrium)	$a<D>$ — высокий, $b<D> \approx 0$. $a<I>$ — низкий, $b<I> \approx 0$.	Экосистема адаптировалась к жизни в условиях хронической деградаций. Активных трендов нет, но и восстановления не происходит. Это зона «экологического тупика».	Консервация и защита от новых угроз (Avoid). Затратное восстановление нецелесообразно. Потенциал улучшения крайне низкий.
6. Восстановление с высокого старта (Recovery from High Base)	$a<D>$ — низкий, $b<D> < 0$ (деградация сокращается). $a<I>$ — высокий, $b<I> > 0$ (улучшение расширяется).	Идеальный сценарий. Территория с хорошим потенциалом успешно восстанавливается. Задача — поддержать процесс.	Поддержание и тиражирование успеха (Maintain & Upscale).
7. Восстановление с низкого старта (Recovery from Low Base)	$a<D>$ — высокий, $b<D> < 0$ (деградация сокращается). $a<I>$ — низкий, $b<I> > 0$ (улучшение нарастает с нуля).	Территория, бывшая в глубоком кризисе, начала выходить из него. Процесс идет, но требует постоянной поддержки, так как потенциал самовосстановления изначально низок.	Долгосрочная поддержка восстановления (Sustained Reverse).

5.4. Сценарное прогнозирование

Завершающая часть диагностики — использование выявленных трендов и механизмов для построения прогнозов. Метод линейной экстраполяции на основе коэффициента b (расчет будущих потерь) был подробно описан в Этапе 2. Здесь важно подчеркнуть, что прогнозирование должно быть **сценарным**.

Вместо одного прогноза мы строим несколько линий, отражающих разные варианты будущего:

- **Сценарий «Бездействие» (Business-as-Usual, BAU):** Экстраполяция текущих трендов (коэффициентов b). Показывает, что произойдет, если ничего не менять.
- **Сценарий «Климатический» (Climate Scenario):** Корректировка трендов с учетом прогнозных климатических моделей (например, усиление аридизации). Требует интеграции с данными гидрометов.
- **Сценарий «Управленческий» (Management Scenario):** Моделирование того, как изменятся тренды (b) при внедрении конкретных мер (например, снижение поголовья на 20%, строительство дренажа на 1000 га). Это позволяет количественно обосновать эффективность планируемых инвестиций.

Резюме.

Углубленная диагностика превращает сырые данные мониторинга в структурированную информацию для принятия решений.

1. **Анализ повторяемости** локализует зоны хронических проблем («горячие точки»), где инвестиции дадут максимальный эффект, и зоны устойчивого восстановления («яркие точки»), опыт которых следует тиражировать.
2. **Диагностика механизмов** (на основе совместного анализа коэффициентов a и b для трендов деградации и улучшения) позволяет понять *природу* кризиса, оценить исходный потенциал территории и выбрать адекватную стратегию из иерархии Avoid-Reduce-Reverse.
3. **Сценарное прогнозирование** позволяет оценить последствия бездействия и обосновать экономическую эффективность планируемых мероприятий, переводя дискуссию из плоскости «надо что-то делать» в плоскость «делать это стоит, потому что мы сэкономим X миллиардов к 2030 году».

Этап 6. Интерпретация результатов и выбор дифференцированной стратегии управления

Данный этап является мостом между аналитикой и действием. На этом этапе вся совокупность диагностической информации, полученной на предыдущих шагах, преобразуется в конкретный, научно обоснованный план мероприятий. Мы переходим от ответа на вопрос «*что происходит?*» к ответу на главный управленческий вопрос: «*что делать и где?*».

Ключевой принцип здесь — **дифференциация**. Невозможно и неэффективно применять одинаковые меры на всей территории. Успешная стратегия достижения НБДЗ должна представлять собой портфель решений, «сшитый» из разных подходов для разных зон, в

зависимости от их диагноза. Этот портфель формируется на основе двух взаимодополняющих диагностических входов, полученных в Этапе 5: (1) результаты частотного анализа и (2) типология сценариев, выявленная через совместный анализ коэффициентов *a* и *b*.

6.1. Первый уровень дифференциации: реагирование на основе частотного анализа

Первый, самый общий уровень разделения территории на зоны с разной *устойчивостью* проблемы дает нам частотный анализ (раздел 5.2). Он отвечает на вопрос: «где проблема уже стала хронической, а где она носит временный характер?».

- **«Горячие точки» (частота деградации > 70%):** Зоны хронической, устойчивой деградации. Здесь негативные процессы доминируют вне зависимости от климатических колебаний. Требуется стратегия **«Восстанавливать» (Re)**. Это зоны для безотлагательных и, как правило, капиталоемких инвестиций: фитомелиорация, рекультивация, строительство дренажных систем, изменение типа землепользования.
- **«Зоны устойчивого восстановления» (частота улучшения > 70%):** Здесь природа или правильное управление уже дают позитивный результат. Стратегия — **«Поддерживать и тиражировать» (Maintain & Upscale)**. Необходимо изучить и документально зафиксировать успешные практики, чтобы использовать их как образцы для обучения и переноса на другие территории.
- **Перманентно стабильные земли (стабильность > 70%):** Зоны, где состояние земель устойчиво. Главная задача — не допустить появления здесь деградации. Стратегия — **«Избегать» (Avoid)**. Это подразумевает внедрение превентивных мер устойчивого землепользования: регулирование нагрузки, защитное лесоразведение, соблюдение севооборотов.
- **Зоны флуктуаций (все остальные территории):** Наиболее сложная для управления категория. Здесь состояние земель колеблется вслед за климатическими циклами или краткосрочными воздействиями. В благоприятные годы они могут выглядеть хорошо, в засушливые — подавать сигналы тревоги. Именно здесь временные ухудшения могут перерасти в хроническую деградацию при неправильном управлении. Стратегия — **адаптивное управление и мониторинг**, с упором на превентивные меры (Avoid) и быстрое реагирование на первые признаки устойчивого негативного тренда.

6.2. Второй уровень дифференциации: реагирование на основе диагностики трендов

Первый уровень говорит нам, где проблема хроническая, а где — нет. Но он не объясняет, как именно протекает деградационный процесс. Для этого мы используем результаты диагностики механизмов, полученные на основе совместного анализа коэффициентов *a* и *b* для установленных динамических трендов (раздел 5.3). Эта диагностика позволяет выбрать правильный *инструмент* воздействия.

Напомним, что коэффициент *a* отражает исходный потенциал территории («близость к краю пропасти»), а коэффициент *b* — скорость и направленность процесса («скорость падения»). Комбинации этих коэффициентов для показателей деградации (D) и улучшения (I) дают нам различные сценарии, каждый из которых требует своей стратегии. Ниже представлена

расширенная интерпретация этих сценариев, непосредственно связанная с выбором управленческих решений.

Таблица 13. Выбор стратегии управления на основе диагностики механизмов

Сценарий	Диагностические признаки	Интерпретация механизма	Стратегия управления (иерархия НБДЗ) и конкретные примеры мер
1. Кризисное наступление (Crisis Onset)	$a_{<D>} —$ низкий (исходно хорошо), $b_{<D>} \gg 0$ (резкий рост деградации). $a_{<I>}$ может быть высоким, но $b_{<I>}$ падает.	Территория с высоким потенциалом внезапно подвергается мощному и острому деградационному прессу. Необходимы срочные меры.	Экстренное реагирование (Emergency Reverse). Меры должны быть направлены на немедленное купирование причины: резкое сокращение поголовья, закрытие участка для выпаса, экстренное строительство защитных сооружений, запрет распахки.
2. Хроническое истощение (Chronic Exhaustion)	$a_{<D>} —$ средний или высокий (уже есть проблемы), $b_{<D>} > 0$ (медленный рост). $a_{<I>} —$ низкий, $b_{<I>} < 0$ (способность к восстановлению падает).	Система медленно, но верно теряет остатки устойчивости. Позитивные процессы сжимаются. Типично для территорий с долговременной историей перевыпаса или неправильной мелиорации.	Стабилизация и поэтапное восстановление (Reduce + Targeted Reverse). Первоочередные меры — остановить падение восстановительного потенциала (Reduce): улучшение инфраструктуры (водопой для рассредоточения нагрузки), поддержка естественного возобновления. Параллельно — точечное восстановление (Reverse) на наиболее ценных участках.
3. Системный коллапс (Systemic Collapse)	$a_{<D>} —$ высокий, $b_{<D>} > 0$. $a_{<I>} —$ низкий, $b_{<I>} < 0$.	Худший сценарий. Территория изначально проблемная и негативные процессы продолжают развиваться; ресурсы для восстановления исчерпаны.	Комплексная реабилитация (Comprehensive Reverse). Требуются «тяжелые» долгосрочные инвестиции, сочетающие срочные и долгосрочные меры: фитомелиорация, коренное улучшение пастбищ, реконструкция дренажных систем. Стратегия должна быть рассчитана на десятилетия.

Сценарий	Диагностические признаки	Интерпретация механизма	Стратегия управления (иерархия НБДЗ) и конкретные примеры мер
4. Потенциально-устойчивое равновесие (Potentially Stable)	$a < D >$ — низкий, $b < D > \approx 0$. $a < I >$ — может быть разным, $b < I > \approx 0$.	Территория находится в равновесии, имеет хороший потенциал. Главная задача — не допустить появления негативных трендов.	Превентивная защита (Avoid). Устойчивое управление, мониторинг для раннего обнаружения угроз. Внедрение передовых практик, исключающих перегрузку и эрозию.
5. Хрупкое равновесие на низком уровне (Fragile Low-Level)	$a < D >$ — высокий, $b < D > \approx 0$. $a < I >$ — низкий, $b < I > \approx 0$.	Экосистема адаптировалась к жизни в условиях хронической деградации. Активных трендов нет, но и восстановления не происходит. Зона «экологического тупика».	Консервация и защита от новых угроз (Avoid). Затратное восстановление здесь нецелесообразно и может нарушить хрупкое равновесие. Приоритет — защита от новых антропогенных нагрузок, сохранение существующего режима. Пример: заповедники на деградированных землях.
6. Восстановление с высокого старта (Recovery from High Base)	$a < D >$ — низкий, $b < D > < 0$. $a < I >$ — высокий, $b < I > > 0$.	Идеальный сценарий. Территория с хорошим потенциалом успешно восстанавливается.	Поддержание и тиражирование успеха (Maintain & Upscale). Задача — обеспечить долгосрочную поддержку восстановительных процессов (сохранение режима пастбищеоборота, защита от пожаров). Опыт необходимо документировать для переноса на другие территории.
7. Восстановление с низкого старта (Recovery from Low Base)	$a < D >$ — высокий, $b < D > < 0$. $a < I >$ — низкий, $b < I > > 0$.	Территория, бывшая в глубоком кризисе, начала выходить из него. Процесс идет, но потенциал самовосстановления изначально низок.	Долгосрочная поддержка восстановления (Sustained Reverse). Процесс требует постоянного сопровождения и инвестиций. Без поддержки он может легко обратить вспять. Меры: подсев ценных трав, регулирование выпаса, борьба с сорняками.

6.3. Интеграция двух подходов: от диагноза к действию на конкретном примере

Два уровня диагностики работают не вместо, а вместе. Частотный анализ (горячие точки) говорит нам, где сконцентрировать усилия. Диагностика механизмов (сценарии а и б) говорит нам, какие именно усилия там применить. Включение коэффициента а в диагностический анализ позволяет ответить на вопрос не только «как быстро мы катимся в пропасть?» (тренд б), но и «насколько мы уже близко к краю?» (исходное состояние а).

Это дает более объемную картину для принятия стратегических решений и позволяет избежать грубых ошибок, когда одинаковые меры применяются к принципиально разным по своему механизму кризиса территориям.

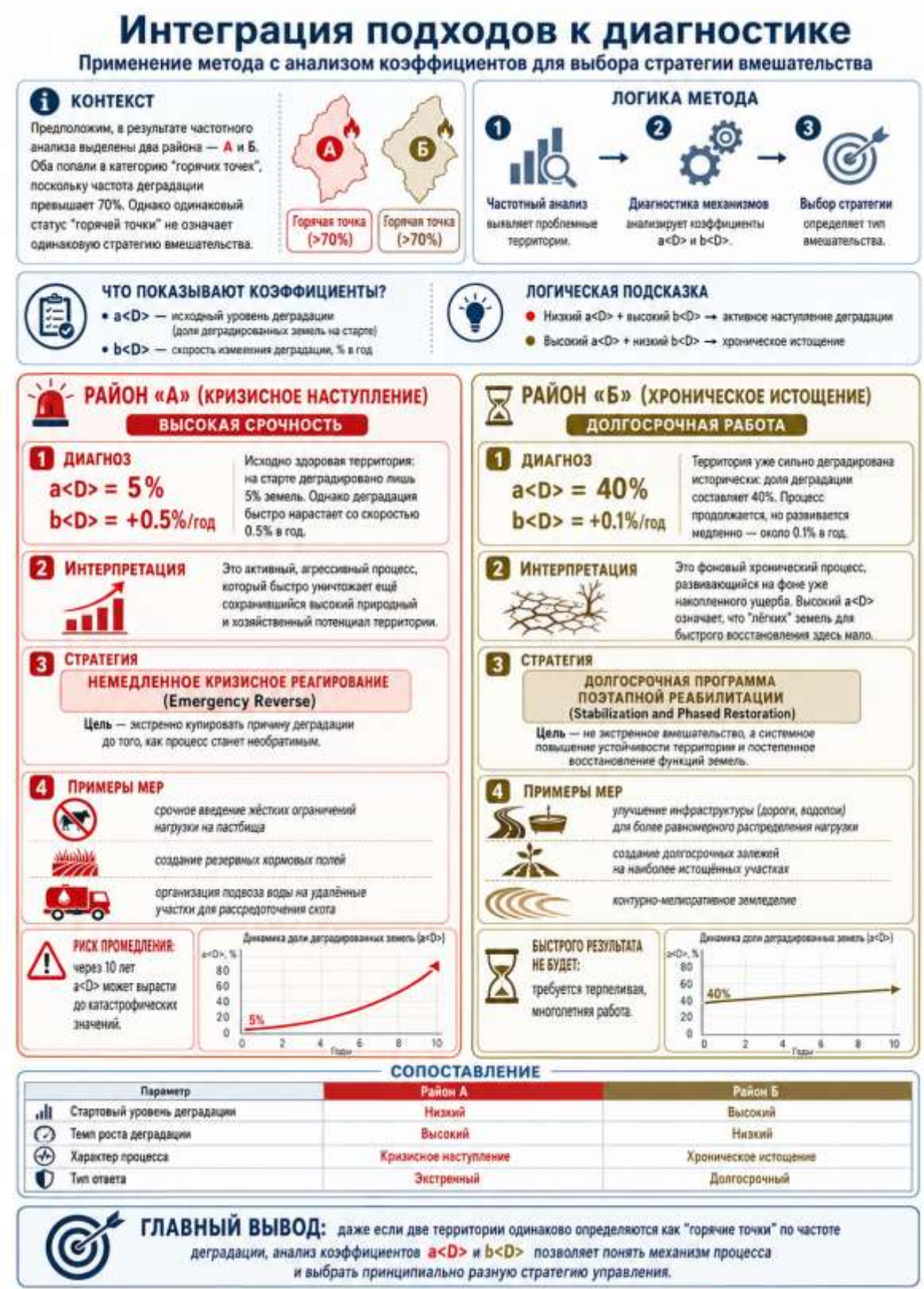


Рисунок 46. Принципиальная схема выбора стратегии землепользования с учетом анализа трендов

Таким образом, на шестом этапе диагностические данные превращаются в целенаправленный план действий:

1. **Частотный анализ** служит для пространственной приоритизации, выделяя зоны хронических проблем («горячие точки»), где вмешательство необходимо в первую очередь.
2. **Диагностика механизмов** (на основе коэффициентов a и b) определяет *тип* необходимого вмешательства для каждой зоны, позволяя выбрать адекватную стратегию из расширенной иерархии Avoid-Reduce-Reverse.
3. Интеграция этих двух подходов позволяет сформировать портфель дифференцированных стратегий для всего региона, где для каждого контура управления (от национального парка до пастбищного комитета) есть четкое, научно обоснованное предписание: *«на этом участке — срочно спасать, на этом — терпеливо восстанавливать, а здесь — просто не мешать и охранять»*. Это и есть суть перехода от пассивного мониторинга к активному управлению земельными ресурсами на пути к нейтральному балансу деградации.

Этап 7. Прогнозирование и адаптивное управление

Заключительный этап переводит систему из режима пассивной отчетности в режим активного планирования. На основе выявленных трендов строятся прогнозы развития ситуации. Например, прогнозируется, сколько гектаров пастбищ будет потеряно к 2030 году при сохранении текущих трендов (сценарий BAU), и какой объем компенсационных мероприятий потребуется для достижения нейтральности. Эти прогнозы пересматриваются и уточняются в каждом новом цикле мониторинга, реализуя принцип адаптивного управления.

Глава 20. Масштабирование алгоритма: от национального уровня до конкретного поля

Предложенный алгоритм является универсальным по своей логике, но его инструментарий и индикаторы кардинально меняются в зависимости от масштаба оценки. В таблице 14 представлена систематизация этих различий.

Таблица 14. Применение усовершенствованного алгоритма НБДЗ на разных масштабных уровнях

Этап / Характеристика	Национальный уровень (Tier 1)	Субнациональный уровень (Tier 2)	Локальный уровень (Tier 3)
Основная цель	Международная отчетность (ЦУР 15.3.1), выявление общенациональных «горячих точек», стратегическое планирование.	Региональное планирование, распределение бюджетов, разработка программ развития, уточнение целей НБДЗ.	Проектирование конкретных мероприятий, мониторинг их эффективности, разрешение земельных споров.

Этап / Характеристика	Национальный уровень (Tier 1)	Субнациональный уровень (Tier 2)	Локальный уровень (Tier 3)
Пространственное разрешение	Грубое (250 м - 1 км).	Среднее (10-30 м).	Высокое и сверхвысокое (менее 10 м, БПЛА, наземные измерения).
Основные источники данных	MODIS, AVHRR, глобальные продукты ESA CCI, SoilGrids, национальная статистика (урожайность, поголовье).	Landsat, Sentinel-2, национальные карты (почвенные, геоботанические), данные кадастра, результаты агрохимобследований.	Sentinel-2, коммерческие спутники (SuperView, Planet), БПЛА, полевые трансекты, почвенные разрезы, датчики электропроводности, данные пастбищных комитетов.
Верификация	Экспертная оценка, сопоставление с немногочисленными национальными данными.	Валидация на сети репрезентативных ключевых участков с привлечением научных организаций.	Сплошная или выборочная наземная верификация с участием земледельцев, полевыми измерениями.
Ключевые индикаторы (помимо 3 глобальных)	Интегральные индексы (Индекс НБДЗ), доля лесов, доля орошаемых земель, поголовье скота.	Индексы засоления (SI), доля эрозионно-опасных земель, продуктивность пастбищ (ц/к.ед.), состояние лесополос.	Проективное покрытие, видовой состав (доля съедобных/ядовитых растений), высота травостоя, глубина залегания грунтовых вод, минерализация, мощность гумусового горизонта.
Методы	Пространственный анализ в Trends.Earth, статистическая обработка.	Анализ временных рядов (Landsat), расчет спектральных индексов, регрессионный анализ для выявления трендов.	Классификация на основе нейросетей (Кохонена, Random Forest), анализ когерентности SAR, модели эрозии (RUSLE), полевое картографирование.

Глава 21. Отраслевая специфика: пашня, пастбища, леса

Общий алгоритм также требует «отраслевой настройки». Ниже в качестве примера для дальнейшей разработки и конкретизации методологии приведены ключевые особенности для трех основных типов землепользования в регионе.

21.1. Орошаемые и богарные пахотные земли

- Главные угрозы: Вторичное засоление, дегумификация, водная эрозия (на богаре), ирригационная эрозия.
- Ключевые индикаторы (в дополнение к базовым):
 - Спектральные индексы засоления (SI) для раннего выявления проблемы, пока NDVI еще высок (явление «зеленой деградации»).
 - Уровень и минерализация грунтовых вод (критический фактор засоления).

- Данные агрохимического мониторинга: динамика содержания гумуса, подвижного фосфора и калия.
- Балл бонитета почвы.
- Состояние коллекторно-дренажной сети (инфраструктурный индикатор).
- Специфика интерпретации: Переход «пашня орошаемая» -> «залежь» в регионе должен интерпретироваться не как нейтральное изменение, а как деградация, если он вызван необратимым засолением.

21.2. Пастбищные земли

- Главные угрозы: Перевыпас (пастбищные сбои, эрозия), недовыпас (зарастание сорняками, «зеленые пустыни»), опустынивание, дефляция.
- Ключевые индикаторы:
 - Качественные показатели растительности: проективное покрытие, доля ценных кормовых видов, доля сорных/ядовитых растений, высота травостоя, наличие семян.
 - Индикаторы нагрузки: фактическая нагрузка (гол./га) по сравнению с нормативной.
 - Показатели дефляции: доля открытых и слабозакрепленных песков, выявляемая с помощью комбинации оптических и радарных данных.
 - Индикаторы обводненности: наличие и состояние водопоев.
- Специфика интерпретации: Рост NDVI на пастбище требует обязательной верификации. Это может быть как восстановление, так и «зеленая пустыня» (экспансия непоедаемых растений). Пастбище с высоким NDVI, но доминированием полыни или ядовитых трав — это деградированное пастбище.

21.3. Лесные земли (включая саксаульники и тугаи)

- Главные угрозы: Вырубка, деградация под влиянием выпаса, пожары, снижение уровня грунтовых вод (в тугаях), высыхание.
- Ключевые индикаторы:
 - Лесистость (покрытая лесом площадь) и ее динамика.
 - Сомкнутость крон/проективное покрытие древостоя.
 - Породный состав и возрастная структура (для оценки естественного возобновления).
 - Наличие и состояние полегающих лесополос (как линейных объектов).
 - Площадь гарей и вырубок.
- Специфика интерпретации: Для саксаульников необходима осторожная интерпретация переходов. Естественное разреживание в засуху — временная флуктуация, а не деградация. Антропогенная деградация (рубки, выпас) требует вмешательства.

Глава 22. Дорожная карта будущих исследований и развития методологии НБДЗ в Центральной Азии

Представленный в Практикуме синтез — это не финальная точка, а важная веха на пути к созданию полностью адаптированной и функционирующей региональной системы мониторинга. Предлагается несколько ключевых направлений для будущих исследований и институциональных усилий.

22.1. Технические и методические направления

1. **Разработка региональных спектральных библиотек и калибровочных коэффициентов:** Необходима скоординированная работа по сбору полевых спектральных данных для основных типов почв и растительности региона. Это позволит значительно повысить точность алгоритмов машинного обучения для картографирования засоления, видового состава пастбищ и типов опустынивания.
2. **Интеграция радарных данных в регулярный мониторинг:** Имеющийся опыт в разных странах демонстрирует огромный потенциал радарной когерентности для мониторинга динамики песков, влажности почв и структуры растительности. Необходимо создание региональных протоколов обработки данных Sentinel для включения их в национальные системы.
3. **Совершенствование методов прогнозирования:** Переход от простой линейной экстраполяции трендов к более сложным моделям, учитывающим климатические сценарии, социально-экономические драйверы и сценарное планирование (что будет, если...). Это позволит обосновывать долгосрочные инвестиции в восстановление.
4. **Оценка накопленного исторического ущерба:** Необходима методология, позволяющая количественно оценить необратимые потери земель за предыдущий (например, советский) период и включить задачи по их ликвидации в долгосрочные национальные цели НБДЗ, отделяя их от предотвращения текущей деградации.

22.2. Институциональные и организационные направления

1. **Создание регионального центра компетенций по НБДЗ** (например, на базе Межрегиональной группы КБО «Центральная Азия – Россия»): Центр мог бы выполнять функции по гармонизации методик, организации совместных обучающих программ, валидации региональных продуктов и координации трансграничного мониторинга.
2. **Институционализация общественного мониторинга:** На законодательном уровне важно закрепить роль пастбищных комитетов, сельских сходов и других местных сообществ в сборе данных для верификации НБДЗ. Это будет способствовать повышению легитимности решений и снизит затраты на мониторинг.
3. **Разработка механизмов финансирования компенсационных мероприятий:** Как перейти от пилотных проектов к масштабным программам? Важно исследовать и адаптировать для региона существующие механизмы: платежи за экосистемные услуги, «зеленые» облигации, углеродные кредиты (за счет секвестрации углерода при восстановлении деградированных земель). Экономическое обоснование таких

механизмов может базироваться на данных усовершенствованного мониторинга НБДЗ.

Заключение

Предложенный подход знаменует собой переход от унифицированной, «калькированной» модели оценки деградации земель к гибкой, **ландшафтно-адаптированной и проблемно-ориентированной системе**. Показано, что для успешного применения концепции НБДЗ в Центральной Азии недостаточно просто рассчитать три глобальных индикатора. Важно подчеркнуть, что предложенные подходы направлены на повышение качества интерпретации и практической применимости результатов, сохраняя согласованность с глобальной методологической рамкой. Предлагается:

1. **Изменить философию оценки** — перейти от статического сравнения к анализу динамических процессов на основе динамической базовой линии.
2. **Углубить диагностику** — не ограничиваться констатацией факта, а выявлять механизмы («наступление», «истощение», «зеленая деградация» - ситуация, при которой высокая вегетационная активность маскирует ухудшение почвенных свойств) и локализовывать хронические «горячие точки».
3. **Дифференцировать инструментарий** — использовать разные наборы данных и индикаторов в зависимости от масштаба (национальный, региональный, локальный) и типа угодий (пашня, пастбище, лес).
4. **Институционализировать процесс** — целесообразно создать межведомственные механизмы координации, единые инфраструктуры пространственных данных и, что крайне важно, включить местные сообщества в систему верификации и мониторинга.

Усовершенствованный алгоритм, детально описанный в этом Практикуме, и дорожная карта будущих исследований призваны помочь национальным экспертным группам, планирующим органам и проектным командам не просто отчитываться по индикатору ЦУР 15.3.1, а использовать методологию НБДЗ как мощный, научно обоснованный инструмент для управления будущим своих земель. Пройдя этот путь, страны региона смогут перейти от пассивной фиксации ущерба к проактивному, эффективному и справедливому управлению своим важнейшим природным капиталом.

Список литературы

Источники на английском языке

1. Abdimuminov, B., Mamatkulov, Z., Allanov, K., Abdunazarav, H., Umarova, M., Choriev, A. 2024. Monitoring and mapping of desertification process using geospatial data and GIS technologies in Mirzachul area. *E3S Web of Conferences*. Vol. 590. Pp. 03008.
2. Akhtar-Schuster, M., Stringer, L.C., Erlewein, A., Metternicht, G., Minelli, S., Safriel, U., Sommer, S. 2017. Unpacking the concept of land degradation neutrality and addressing its operation through the Rio Conventions. *Journal of Environmental Management*. Vol. 195 (Pt 1). Pp. 4-15.
3. Andreeva, O.V., Kust, G.S. Land Assessment in Russia Based on the Concept of Land Degradation Neutrality. *Reg. Res. Russ.* 10, 593–602 (2020).
<https://doi.org/10.1134/S2079970520040127>
4. Andreeva O.V., Kust G.S., Lobkovsky V.A. Sustainable land management and land degradation neutrality // Herald of the Russian Academy of Sciences. — 2022. — Vol. 92, no. 3. — P. 285–296. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1019331622030066>
5. Bobushev, T.S., Sultanaliyev, K.E. 2020. Evaluation and adaptation of the land degradation neutrality approach to land classification resources in the Kyrgyz Republic. *Arid Ecosystems*. Vol. 10. № 2. Pp. 123-126.
6. Chasek, P., Safriel, U., Shikongo, S., Fuhman, V.F. 2015. Operationalizing Zero Net Land Degradation: The next stage in international efforts to combat desertification? *Journal of Arid Environments*. Vol. 112. Pp. 5-13.
7. Cowie, A.L., Orr, B.J., Castillo Sanchez, V.M., Chasek, P., Crossman, N.D., Erlewein, A., Louwagie, G., Maron, M., Metternicht, G.L., Minelli, S., Tengberg, A.E., Walter, S., Welton, S. 2018. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science & Policy*. Vol. 79. Pp. 25-35.
8. Eddy, I.M.S. 2016. *Land degradation in Central Asia: identifying dynamics of pasture resources in heterogeneous landscapes using remote sensing* (Doctoral dissertation). University of British Columbia.
9. Eddy, I.M.S., et al. 2015. Limitations of Vegetation Indices For Detecting Pasture Degradation: A Case Study of Montane Pastoral Systems in Central Asia. *AGU Fall Meeting Abstracts*. 2015. B21G-0550.
10. ELD Initiative. 2016. Quillérrou, E., Thomas, R.J., Guchgeldiyev, O., Ettling, S., Etter, H., & Stewart, N. (2016). Economics of Land Degradation (ELD) Initiative: Broadening options for improved economic sustainability in Central Asia. Synthesis report. Report for the ELD Initiative from the Dryland Systems Program of CGIAR c/o ICARDA, Amman, Jordan. Available from www.eld-initiative.org.
11. ESA. 2017. European Space Agency. Climate Change Initiative Land Cover (ESA CCI-LC) Product User Guide. [Доступно на портале ESA CCI: <https://www.esa-landcover-cci.org/> и в каталоге NERC: <https://data-search.nerc.ac.uk/geonetwork/srv/search?orgName=ESA%20Land%20Cover%20CCI%20project%20team>]
12. Eziz, A., Kust, G., Andreeva, O., et al. 2025. Refining the LDN Framework: Mitigating Reporting Ambiguity through Integrated Spatiotemporal Analysis. (in print)/

13. FAO / GEF. 2018-2025. *Integrated Natural Resources Management for Resilient Landscapes in Central Asia and Turkey (CACILM II)*. Project documentation.
14. FAO. 2022. *Overview of Land Degradation Neutrality (LDN) in Europe and Central Asia*. Rome: FAO. [Доступно на портале FAO: <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1731304>]
15. GEO LDN Initiative. *Minimum Data Quality Standards for LDN*. [Информация доступна на официальном сайте GEO-LDN: <https://geo-ldn.org/>].
16. Grainger, A. 2015. Is land degradation neutrality feasible in dry areas? *Journal of Arid Environments*. Vol. 112 (Part A). Pp. 14-24.
17. Guo, Q., Fu, B., Shi, P., Cudahy, T., Zhang, J., Xu, H. 2017. Satellite monitoring of desertification in Central Asia. *Science of the Total Environment*. Vol. 601-602. Pp. 1248-1259.
18. Haishuo, W., Guang, L., Gang, L. 2018. Remote sensing monitoring of desertification in Central Asia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 191. 012113.
19. Hassani, A., et al. 2021. Global predictions of primary soil salinity under climate change. *Nature Communications*. Vol. 12. 443.
20. Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G.B.M., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., et al. 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE*. Vol. 12. № 2. e0169748.
21. Huete, A. A. 1988. Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. Vol. 25. Pp. 295-309.
22. IPCC. 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. [Доступно на официальном сайте IPCC: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/> и на портале UNFCCC: <https://unfccc.int/news/ipcc-updates-methodology-for-greenhouse-gas-inventories>].
23. Jiang, L., Bao, A., Jiapaer, G., et al. 2022. Monitoring land degradation and assessing its drivers to support sustainable development goal 15.3 in Central Asia. *Science of the Total Environment*. Vol. 807. 150868.
24. Juliey M., Kholmurodova M., Gafurova L., Khoshjanova K., Khomidov A., Agzamova I., Normatova N., Gulyamov G., Muratova M., Gulamkadirova M., Modeling of soil erosion based on geospatial techniques and the RUSLE model for the Ugam Chatkal National Park, Uzbekistan, *J. Geol. Geogr. Geoecology*, 2024, Vol. 33, pp. 485–494.
25. Khamzina, A., et al. 2009. Assessing degradation of irrigated lands in Uzbekistan. *Land Degradation & Development*. Vol. 20. № 3. Pp. 249–266.
26. Khazieva, E., et al. 2023. A multi-data approach to evaluate progress towards land degradation neutrality in Central Asia. *Ecological Indicators*. Vol. 154. 110529. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110529>.
27. Kulsoom, I., et al. 2024. Leaf Area Index estimation from Sentinel-2 data. *Remote Sensing*. Vol. 16. № 3. 456.
28. Kust, G. S., V. A. Lobkovskiy, L. G. Lobkovskaya, V. D. Podlesnov, M. A. Movchan, and A. D. Antipova (2025), Use of Variable Matrices of Land Cover Changes for the Assessment of Land Dynamics Based on the Indicators of Land Degradation Neutrality, *Russian Journal of Earth Sciences*, 25, ES3003, <https://doi.org/10.2205/2025ES001001>

29. Kust, G., Andreeva, O., & Shklyayeva, D. 2023. Application of the concept of land degradation neutrality for remote monitoring of agricultural sustainability of irrigated areas in Uzbekistan. *Sensors*. Vol. 23. № 14. 6419.
30. Kust, G., Andreeva, O., Cowie, A. 2017. Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment. *Journal of Environmental Management*. Vol. 195 (Pt 1). Pp. 16-24.
31. Kust, G., Andreeva, O., Lobkovskiy, V., Telnova, N. 2018. Uncertainties and policy challenges in implementing Land Degradation Neutrality in Russia. *Environmental Science & Policy*. Vol. 89. Pp. 106-115.
32. Kust, G., O. Andreeva, and V. Lobkovskiy. 2023. "Aridity and Land Degradation: The Role of Climate Variability in LDN Assessment." *Arid Ecosystems*, 13(4), pp. 401-412.
33. Kust, G.S., Andreeva, O.V., Lobkovskiy, V.A. 2020. Land degradation neutrality: The modern approach to research on arid regions at the national level. *Arid Ecosystems*. Vol. 10. № 2. Pp. 87-92.
34. Kust, G.S., Andreeva, O.V., Shklyayeva, D.S. Assessment of dynamics of desertification / land degradation in Central Asia countries using the methodology of land degradation neutrality. Presentation at the «International Forum on Sustainable Development of Ecology and Environment in the Silk Road Economic Belt. September 18-19, 2023, Urumqi, China.
35. Kust, G.S., Durikov, M.K., Lobkovsky, V.A., et al. 2022. The scientific basis for the statement of achievement objectives for the land degradation neutrality in Turkmenistan. *Arid Ecosystems*. Vol. 12. № 4. Pp. 441-454.
36. Kust, G.S., Shklyayeva, D.S., Lobkovskiy, V.A. et al. Using the Methodology of Land Degradation Neutrality to Assess the Territory of the Caspian Region. *Arid Ecosyst* 14, 159–168 (2024). <https://doi.org/10.1134/S2079096124700033>.
37. LDN TSP Country Report. 2018. *Kyrgyz Republic*. UNCCD. [Доступно в разделе страновых профилей UNCCD: <https://www.unccd.int/our-work/country-profiles>]
38. LDN TSP Country Report. 2018. *Republic of Kazakhstan*. UNCCD. [Доступно в разделе страновых профилей UNCCD: <https://www.unccd.int/our-work/country-profiles>]
39. LDN TSP Country Report. 2019. *Republic of Uzbekistan*. UNCCD. [Доступно в разделе страновых профилей UNCCD: <https://www.unccd.int/our-work/country-profiles>]
40. LDN TSP. 2022. *Turkmenistan. Final Consolidated Report*. UNCCD. [Доступно в разделе страновых профилей UNCCD: <https://www.unccd.int/our-work/country-profiles>]
41. LDN TSP. 2024. *Tajikistan. Final Consolidated Report*. UNCCD. [Доступно в разделе страновых профилей UNCCD: <https://www.unccd.int/our-work/country-profiles>]
42. Li, J., De Maeyer, P., Chen, X., Van de Voorde, T., Li, Y. 2026. A novel dual-threshold assessment method for formulating land degradation neutrality priority governance strategies in Central Asia under SDG 15.3.1. *Environmental Impact Assessment Review*. Vol. 116. 108116.
43. Li, S., He, S., Xu, Z., Liu, Y., von Bloh, W. 2023. Desertification process and its effects on vegetation carbon sources and sinks vary under different aridity stress in Central Asia during 1990–2020. *Catena*. Vol. 221. Pp. 106767.
44. Marian, A., Akhtar-Schuster, M., Stringer, L.C. 2020. The role of science-policy interfaces in addressing land degradation. *Environmental Science & Policy*. Vol. 114. Pp. 120-129.

45. Mirzabaev, A. et al. 2016. "Land degradation hotspots in Central Asia." In: *Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development*. Springer. [Доступно через SpringerLink: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-19168-3>]
46. Mirzabaev, A., et al. 2023. Economics of Land Degradation in Central Asia. In: *Global Land Outlook* (2nd ed.). UNCCD.
47. Orr, B.J., Cowie, A.L., Castillo Sanchez, V.M., Chasek, P., Crossman, N.D., Erlewein, A., Louwagie, G., Maron, M., Metternicht, G.I., Minelli, S. & Tengberg, A.E. 2017. *Scientific conceptual framework for land degradation neutrality*. A report of the Science-policy Interface. Bonn, Germany: United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). [Информация о публикации доступна на сайте UNCCD https://www.unccd.int/sites/default/files/2018-09/LDN_CF_report_web-english.pdf]
48. Thenkabail P. S., Lyon J. G., Huete A. (ed.). *Hyperspectral remote sensing of vegetation*. Second Edition, CRC Press, 2019. 840 p.
49. Sharpe, N., Mwangi, P., Isakov, I. and Onyango, V. 2022. Application of the participatory rangeland and grassland assessment (PRAGA) methodology in Kyrgyzstan – Baseline analysis, remote sensing, field assessment and validation report. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9402en>
50. Squires, V.R., G. Qi, and A. Rakhmatullaev, eds. 2019. *Land Degradation Neutrality in Central Asia: Regional Thematic Report*. Bonn, Germany: UNCCD. [Доступно на портале публикаций UNCCD: <https://www.unccd.int/resources/publications>]
51. Stavi, I., Lal, R. 2015. Achieving zero net land degradation: challenges and opportunities. *Journal of Arid Environments*. Vol. 112. Pp. 44-51.
52. Trends.Earth. *User Guide*. Conservation International. 2026. [Доступно в онлайн-документации: https://trends-earth/en/latest/for_users/#trends-earth-user-guide]
53. UN. 2015. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. A/RES/70/1. United Nations General Assembly.
54. UN. 2017. A/RES/71/313. Resolution adopted by the General Assembly on 6 July 2017. Work of the Statistical Commission pertaining to the 2030 Agenda for Sustainable Development. [Доступно на официальном сайте United Nations Statistics Division: https://ggim.un.org/documents/A_Res_71_313_r.pdf].
55. UNCCD National Report. 2022. *Report from the Kyrgyz Republic*. (PRAIS 4). [Доступно через систему PRAIS: <https://prais.unccd.int/>]
56. UNCCD National Report. 2022. *Report from the Republic of Kazakhstan*. (PRAIS 4). [Доступно через систему PRAIS: <https://prais.unccd.int/>]
57. UNCCD National Report. 2022. *Report from the Republic of Tajikistan*. (PRAIS 4). [Доступно через систему PRAIS: <https://prais.unccd.int/>]
58. UNCCD National Report. 2022. *Report from the Republic of Uzbekistan*. (PRAIS 4). [Доступно через систему PRAIS: <https://prais.unccd.int/>]
59. UNCCD National Report. 2022. *Report from Turkmenistan*. (PRAIS 4). [Доступно через систему PRAIS: <https://prais.unccd.int/>]
60. UNCCD. 2015a. *Land Degradation Neutrality: resilience at local, national and regional levels*. Bonn, Germany. [Доступно на общем портале публикаций UNCCD: <https://www.unccd.int/resources/publications>]

61. UNCCD. 2015b. *Integration of the Sustainable Development Goals and Targets into the Implementation of the UNCCD*. Report of the IWG on LDN. ICCD/COP(12)/4. Bonn, Germany: UNCCD.
62. UNCCD. 2015c. *Report of the Conference of the Parties on its twelfth session held in Ankara from 12 to 23 October 2015. Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its twelfth session*. ICCD/COP(12)/20/Add.1. Bonn, Germany: UNCCD.
63. UNCCD. 2015d. *Report of the Conference of the Parties on its twelfth session held in Ankara from 12 to 23 October 2015*. ICCD/COP(12)/20/Add.1. Decision 3/COP.12. Integration of the Sustainable Development Goals and targets into the implementation of the United Nations Convention to Combat Desertification and the Intergovernmental Working Group report on land degradation neutrality. [Доступно на общем портале публикаций UNCCD: https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/2019-08/3COP12_0.pdf]
64. UNCCD. 2016a. *Land Degradation Neutrality Target Setting – A Technical Guide*. Bonn, Germany: Global Mechanism and UNCCD Secretariat. [Доступно на официальном сайте UNCCD: <https://www.unccd.int/resources/publications/ldn-target-setting-technical-guide>].
65. UNCCD. 2016b Achieving Land Degradation Neutrality at the country level. Building blocks for LDN target setting. The Global Mechanism of the UNCCD. 2016 [Доступно на официальном сайте UNCCD: [https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/160915_ldn_rgb_small%20\(1\).pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/160915_ldn_rgb_small%20(1).pdf)].
66. UNCCD. 2021. Sims, N.C., Newnham, G.J., England, J.R., Guerschman, J., Cox, S.J.D., Roxburgh, S.H., Viscarra Rossel, R.A., Fritz, S. and Wheeler, I. 2021. *Good Practice Guidance. SDG Indicator 15.3.1, Proportion of Land That Is Degraded Over Total Land Area. Version 2.0*. Bonn, Germany: United Nations Convention to Combat Desertification. [Информация о публикации доступна на сайте UNCCD: https://catalogue.unccd.int/1531_Good_Practice_Guidance_SDG_Indicator_15.3.1_Version_1.0.pdf]
67. UNCCD. 2023. *Study on land degradation, climate change and migration nexus in Central Asia*. [Доступно на портале публикаций UNCCD: <https://www.unccd.int/resources/publications>]
68. UNCCD. 2024a. ICCD/COP(16)/24/Add.1. Decision 18/COP.16. Knowledge sharing, technology transfer and innovation. 13.12.2024 [Доступно на официальном сайте UNCCD: <https://www.unccd.int/sites/default/files/2025-03/18-cop16.pdf>].
69. UNCCD. 2024b. Vicente-Serrano, S. M., N. G. Pricope, A. Toreti, E. Morán-Tejeda, J. Spinoni, A. Ocampo-Melgar, E. Archer, A. Diedhiou, T. Mesbahzadeh, N. H. Ravindranath, R. S. Pulwarty and S. Alibakhshi (2024). The Global Threat of Drying Lands: Regional and global aridity trends and future projections. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Bonn, Germany.
70. UNCCD, 2025a. *Addendum to the good practice guidance. SDG indicator 15.3.1 Proportion of land that is degraded over total land area. Version 2.0*. Available at: <https://www.unccd.int/resources/publications/addendum-good-practice-guidance-sdg-indicator-1531-proportion-land-degraded>

71. UNCCD. 2025b. *Voluntary LDN targets*. Available at: <https://www.unccd.int/our-work/country-profiles/voluntary-ldn-targets>.
72. UNCCD. *PRAIS 4 Reporting Manual – Strategic Objective 1*. [Доступно в онлайн-документации UNCCD: <https://prais4-reporting-manual.unccd.int/>]
73. Vanino, S., Nino, P., De Michele, C., Bolognesi, S. F., D'Urso, G., Di Bene, C., Napoli, R. 2018. Capability of Sentinel-2 data for estimating maximum evapotranspiration and irrigation requirements for tomato crop in Central Italy. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 215. Pp. 452-470.
74. World Bank. 2025. *RESILAND Project: Environmental Assessment and Framework Document for Uzbekistan and Tajikistan*.
75. Xu H. 2023. Application of Remote Sensing in Desertification Monitoring. *Highlights in Science, Engineering and Technology*. Vol. 69. Pp. 161-166.

Источники на русском языке

76. Андреева, О.В., Куст, Г.С., Лобковский, В.А. Применение концепции нейтрального баланса деградации земель для выбора мероприятий по устойчивому управлению пастбищами. *Аридные экосистемы*. 2022. Т. 28. № 4(93). С. 45-56.
77. Баймуканов Д. Концепция рационального использования пастбищ в Республике Казахстан на 2021 - 2030 годы. 19.01.2022. Портал "Агро в деталях". [Доступно на: <https://agriexpert.ru/articles/137/koncepciya-racionalnogo-ispolzovaniya-pastbishh-v-respublike-kazakhstan-na-2021-2030-gody>]
78. Беляева, М.В., Куст, Г.С., Андреева, О.В. 2023. Оценка НБДЗ для Самарской области с использованием региональных индикаторов. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. Т. 87. № 2. С. 215-230.
79. Виноградов, Б.В. 1984. *Аэрокосмический мониторинг экосистем*. М.: Наука. 320 с.
80. Виноградов, Б.В. 1993. *Основы ландшафтной экологии*. М.: ГЕОС. 240 с.
81. Закон Кыргызской Республики от 26 января 2009 года № 30 «О пастбищах». <https://cbd.minjust.gov.kg/202594/edition/1188200/ru>
82. Кирюшин, В.И. 2011. *Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов*. М.: КолосС. 443 с.
83. Концепция по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике» (2013). <https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/87583?lang=ru>
84. Крючков, В.В. 1973. *Крайний Север: проблемы рационального использования природных ресурсов*. М.: Мысль. 184 с.
85. Кулик, К.Н. 2004. *Агролесомелиоративное картографирование и оценка опустынивания*. Волгоград: ВНИАЛМИ. 251 с.
86. Кулик, К.Н., Рулев, А.С., Юферев, В.Г. 2010. Геоинформационное картографирование опустынивания. *Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11. Естественные науки*. № 1. С. 78-84.
87. Куст, Г.С. 2002. *Опустынивание: принципы эколого-генетической оценки и картографирования*. М.: Изд-во МГУ. 232 с.
88. Куст, Г.С. 2017. *Аналитические материалы, предложения и рекомендации к проекту национального доклада РФ о выполнении КБО ООН*. М.: Институт географии РАН. 694 с.

89. Куст, Г.С., Аветян, С.А., Андреева, О.В. 2004. Роль эволюционного подхода В.А. Ковды в выявлении педогенетических трендов в засушливых регионах, подверженных опустыниванию. *Почвоведение*. № 12. С. 1334-1340.
90. Лобковский, В.А., Куст, Г.С., Андреева, О.В. 2019. Методические подходы к установлению базовой линии для мониторинга индикаторов нейтрального баланса деградации земель в России. *Проблемы региональной экологии*. № 4. С. 30-36.
91. Лобковский, В.А., Куст, Г.С., Андреева, О.В. 2022. Интеграция международной и национальной систем мониторинга и оценки деградации земель в России. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. Т. 86. № 1. С. 9–27.
92. Лобковский, В.А., Куст, Г.С., Андреева, О.В. 2022. Принципиальная схема расширенной структуры системы национальных индикаторов оценки НБДЗ. В сб.: *Устойчивое землепользование и почвенные ресурсы*. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. С. 85-92.
93. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» (под редакцией Р.С.-Х. Эдельгернева). Том 2. М.: ООО «Издательство МБА», 2019. 476 с. ISBN 978-5-6043225-6-7
94. Панкова Е.И., Молодцов В.А., Ямнова И.А., и др. Особенности засоления и гипсоносности почв Джизакской Степи (до начала ее мелиоративного освоения в 70-х годах XX в.). — Москва: Медиа-Пресс, 2023.
95. Панкова, Е. И., Долинина, Е. А. Сопоставление засоления почв Голодной степи за различные годы. // Мелиорация и водное хозяйство. — 1992. — № 1.
96. Петров, К. М., Бананова, В. А., Лазарева, В. Г., Унагаев, А. С. 2016. Региональные особенности глобального процесса опустынивания в Северо-Западном Прикаспии. *Биосфера*. Т. 8. № 1. С. 49-62.
97. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № 50 от 02.02.2023 «О механизме мониторинга, оценки, подготовки форм отчетности и издания результатов мероприятий по борьбе с деградацией земель». [Доступно на: <https://lex.uz/docs/6278158>]
98. Постановление Президента Республики Узбекистан от 10 июня 2022 года № PQ-277 «О мерах по созданию эффективной системы борьбы с деградацией земель». [Доступно на: <https://lex.uz/ru/docs/6058692>]
99. «Президент Туркменистана озвучил новые инициативы своей страны сфере мира и устойчивого развития». Новости ООН. <https://news.un.org/ru/story/2025/09/1466452>
100. Прокопьева К.О. 2022. Использование разновременных космических снимков высокого разрешения для оценки засоления почв солонцового комплекса (Республика Калмыкия). *Аридные экосистемы*. Т. 28. № 4(93). С. 61-74.
101. Прокопьева К.О. 2025. *Цифровое картографирование засоленности почв в опустыненных степях Калмыкии*. Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук.
102. Прокопьева К.О., Соболев И.В. Цифровое картографирование засоленности почв юга степной зоны России на основе искусственных нейронных сетей и линейной регрессии. // *Вестник Московского Университета. Серия 17. Почвоведение*. 2024. № 4. с.170-183. <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-4-170-183>.

103. Протокол заседания Бюро Межрегиональной группы «Центральная Азия – Россия» с целью содействия сотрудничеству для осуществления целей и Стратегии КБО ООН. 29 мая 2024 г. Оренбург, Российская Федерация. 8 с.
104. «Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» (утв. Президентом РФ 30.04.2012). [Доступно на: <https://base.garant.ru/70169264/>].
105. Региональная среднесрочная стратегия по управлению песчаными и пыльными бурями на 2021-2030 гг. UNCCD, State Forestry and Grassland Administration of the People's Republic of China, Changwon Initiative, CAREC, 2021. [Доступно на: <https://www.carececo.org/publications/zasuha/Russian/c2r/SDS%20-%20RUS%20-%20Региональная%20стратегия%20по%20ППБ.pdf>].
106. Региональная стратегия по управлению рисками засух и смягчению их последствий на 2021-2030 гг. UNCCD, State Forestry and Grassland Administration of the People's Republic of China, Changwon Initiative, CAREC, 2021. [Доступно на: <https://www.carececo.org/publications/zasuha/Russian/c1r/Drought%20-%20RUS%20-%20Региональная%20Стратегия%20по%20засухе.pdf>].
107. Реймов П. Р. Эколого-экономические аспекты регионального геоэкологического районирования на примере Приаралья // Экономика и социум. 2022. №4-3 (95). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskie-aspekty-regionalnogo-geoekologicheskogo-rayonirovaniya-na-primere-priaralya>.
108. Славко В. Д., Андреева О. В., Куст Г. С. 2023. Оценка динамики наземного покрова в целях установления нейтрального баланса деградации земель на локальном уровне (для опустыненных угодий сукостепного Заволжья). *Аридные экосистемы*. Т. 29. № 1(94). С. 59–69.
109. Указ Президента Республики Узбекистан, от 30.05.2025 г. № УП-90 «О мерах по последовательному продолжению реформ в рамках Общенационального проекта «Яшил макон» и в системе управления лесами, а также расширению зеленых зон». [Доступно на: <https://www.unccd.int/resources/publications>] <https://lex.uz/docs/7552006>].
110. Федеральная целевая программа Российской Федерации «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы». [Доступно на: <https://base.garant.ru/70478356/>]
111. Федеральный закон Российской Федерации № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения». [Доступно на: <https://base.garant.ru/12112328/>].
112. Цветнов Е.В., Марахова Н.А. 2025. Анализ и прогнозирование деградации земель на основе методологии LDN, трендов и пространственного моделирования. Материалы обучающего курса в Каракалпакском государственном университете.
113. Шинкаренко, С. С., Барталев, С. А., Биарсланов, А. Б., Полтарин, В. С. 2025. Метод картографирования сезонной динамики площадей открытых песков и дефлированных территорий на основе спутниковых данных высокого разрешения и машинного обучения. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. Т. 22. № 3. С. 207-221.
114. Шинкаренко, С. С., Дорошенко, В. В., Берденгалиева, А. Н. 2019. Динамика опустынивания Черных земель. *Аридные экосистемы*. Т. 25. № 3(80). С. 45-52.

115. Юферев В.Г. 2007. *Методология дистанционного мониторинга опустынивания аридных территорий*. Волгоград: ВНИАЛМИ. 156 с.
116. Юферев, В.Г., Силова, В.А., Ткаченко, Н.А. 2023. Дистанционный мониторинг опустынивания территории Калмыкии. *Аридные экосистемы*. Т. 29. № 1(94). С. 46-52.

Фондовые материалы (отчеты и рукописи)

117. Ванярхо М.А., Зиятдинов А.Ш., Прокофьев И.Л., Федорова Н.Л., Уланова С.С.. Метод определения степени деградации пустынной зоны Калмыкии с использованием спутниковой радиолокации // *Аридные экосистемы*, 2026 (в печати)
118. ИГРАН. 2025. Отчет по теме государственного задания ИГ РАН «Научно-методическое обеспечение реализации концепции нейтрального баланса деградации земель для оценки состояния земель на субнациональном уровне» (реестровый номер 730000Ф.99.1.БВ16АА01000)». Москва, 2025 . 131 с.
119. Подлеснов В. Д., Куст Г. С. Методика расчёта устойчивой повторяемости состояний для выявления «горячих» точек деградации земель // *Геодезия и картография*, 2026 (в печати)
120. ПРООН-Туркменистан. 2025. Отчетная документация по проекту ПРООН-ГЭФ «Сохранение и устойчивое управление земельными ресурсами и экосистемами высокой природной ценности в бассейне Аральского моря для получения множественных выгод» (Аральский проект).
121. ПРООН-Узбекистан. 2025. Отчетная документация по проекту ПРООН-ГЭФ «Сохранение и управление озерами, водно-болотными угодьями и прибрежными коридорами как основа устойчивого и нейтрального к деградации земель ландшафта бассейна Аральского моря, поддерживающего устойчивое жизнеобеспечение» (Aral wetlands).
122. Сбер. 2025. Материалы проекта по применению моделей искусственного интеллекта для мониторинга и оценки процессов деградации почв и опустынивания, в том числе на основе данных дистанционного зондирования Земли.