

ПРИМЕНЕНИЕ ВАРИАТИВНЫХ МАТРИЦ ИЗМЕНЕНИЯ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДИКАТОРОВ НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

Г. С. Куст¹ , В. А. Лобковский¹ , Л. Г. Лобковская¹ , В. Д. Подлеснов¹ , М. А. Мовчан¹ , А. Д. Антипова¹ 

¹Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН), г. Москва, Россия

* **Контакт:** Василий Анатольевич Лобковский, v.a.lobkovskiy@igras.ru

Представлены результаты оценки деградации земель для Рязанской и Тульской областей на основе концепции нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ)). Впервые сделана попытка продемонстрировать подходы, позволяющие развить методологию оценки субиндикаторов НБДЗ для гумидных территорий (с использованием метода скользящего среднего и измененных матриц переходов типов наземного покрова). Для лесопокрытых земель предложена матрица, модифицированная с учетом особенностей динамики древесной растительности, включая взаимные переходы хвойных, широколиственных и мелколиственных лесов. Получены новые данные по тенденциям деградации земель для исследуемых территорий. Показана возможность применения методологии НБДЗ для актуализации данных официальной статистики, детализации трендов продуктивности земель и изменений в землепользовании. Несмотря на снижение темпов деградации, на рассмотренных территориях ухудшенные и умеренно ухудшенные деградированные земли в совокупности все еще значительно преобладают над улучшенными, что требует активного вмешательства в регулирование условий землепользования и использования новых методов. При этом ситуация по областям несколько различна: если в Тульской области деградированные земли в основном приурочены к лесостепной подзоне, то в Рязанской очаги деградированных земель одинаково часто встречаются и в лесных районах. Выявлена высокая зависимость трендов деградации земель от даже краткосрочных (в пределах 5–10 лет) изменений климата. Для Рязанской и Тульской областей такие реакции (улучшения или ухудшения) на отдельных участках и в области в целом могут быть очень контрастны, что требует особого учета при разработке мероприятий по адаптации к изменениям климата.

Ключевые слова: деградация земель, нейтральный баланс деградации земель, индикатор, продуктивность земель, наземный покров.

Цитирование: Куст, Г. С., В. А. Лобковский, Л. Г. Лобковская, В. Д. Подлеснов, М. А. Мовчан, А. Д. Антипова Применение вариативных матриц изменения наземного покрова для анализа динамики состояния земель с использованием индикаторов нейтрального баланса деградации земель // Russian Journal of Earth Sciences. — 2025. — Т. 25. — ES3003. — DOI: 10.2205/2025es001001 — EDN: OHGVYS

<https://elibrary.ru/OHGVYS>

Получено: 30 октября 2024 г.

Принято: 12 февраля 2025 г.

Опубликовано: 2 апреля 2025 г.



© 2025. Коллектив авторов.

Введение

На сегодняшний день концепция нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ, «Land Degradation Neutrality» (LDN)) рассматривается в качестве единственной базовой методологии в области оценки деградации земель, позволяющей осуществлять сравнительную оценку состояния земель на любом участке земной поверхности с помощью минимального набора основных глобальных индикаторов. Концепция НБДЗ была разработана в рамках деятельности Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО

ООН) и нацелена на расчет индикаторов для оценки выполнения задачи 15.3 Целей устойчивого развития ООН (ЦУР) до 2030 года, согласно индикатору 15.3.1 – доля деградированных земель от общей площади территории [ООН, 2015].

НБДЗ определяется как «состояние, при котором количество и качество земельных ресурсов, необходимое для поддержания функций и услуг экосистемы и повышения продовольственной безопасности, остается стабильным или растет в рамках заданных временных и пространственных масштабов и экосистем» [UNCCD, 2016]. К основным глобальным индикаторам (так называемым прокси-индикаторам) НБДЗ относят динамику наземного покрова, динамику продуктивности земель, динамику запасов почвенного органического углерода (ПОУ). В основе методов исследования лежит инструмент Trends.Earth, разработанный специально для оценки НБДЗ и реализованный в качестве отдельного модуля (плагина) ГИС платформы Quantum-GIS [Trends.Earth User Guide, 2024].

Ранее нами были показаны возможности применения методологии НБДЗ как на примере областей и регионов, так и для отдельных земельных участков, в основном для засушливых территорий Юга европейской части России и в сопредельных странах [Беляева и др., 2020; Иванов и др., 2019; Kust et al., 2024].

В данном исследовании нами были поставлены задачи совершенствования методологии анализа деградации земель, применив в совокупности ряд подходов, эффективность которых была продемонстрирована нами для каждого по отдельности в более ранних работах:

1. оценить возможность более широкого использования подходов НБДЗ для анализа деградации земель, в том числе для гумидных территорий, на примере Тульской и Рязанской областей (подзоны южной тайги, широколиственных лесов и лесостепи);
2. рассчитать долю деградированных земель (индикатор ЦУР 15.3.1) с использованием в качестве базового значения усредненные показатели за период 2000–2020 гг., сравнить полученные результаты со статистическими данными;
3. для субиндикатора «динамика продуктивности земель» провести анализ продуктивности земель Тульской и Рязанской областей за 2000–2020 гг. по пятилетним базовым периодам с использованием метода скользящего среднего и медианных значений за 2000–2020 гг. в качестве базового периода оценки;
4. установив различия динамики продуктивности земель для разных типов наземного покрова, предложить для них модифицированные матрицы переходов наземного покрова и на этой основе продемонстрировать особенности динамики лесопокрываемых земель.

На данном этапе работ оценивалась совокупность факторов без выделения различий, связанных с антропогенными и природными факторами.

Объекты исследования

Для исследуемых областей России характерны разнообразные антропогенные воздействия, в основном связанные с сельским и лесным хозяйством. При этом, согласно статистическим и фондовым данным, здесь характерны как процессы деградации земель, так и проградации (восстановления) отдельных участков. Теоретически на таких территориях концепция НБДЗ и разработанные на ее основе методы должны показывать наиболее интересные результаты.

Климат исследуемых областей умеренно-континентальный, в атмосферной циркуляции воздушных масс преобладает западный перенос. Основные климатические характеристики, потенциально влияющие на изменения наземного покрова, представлены в табл. 1.

Общая площадь земель Рязанской области на 1 января 2024 г. составила 3960,5 тыс. га, Тульской области 2567,9 тыс. га. В обеих областях наибольшую долю в составе наземного покрова занимают земли сельскохозяйственного назначения (рис. 1).

Таблица 1. Основные климатические характеристики рассматриваемых объектов (по данным «Росгидромет» и «Изменения климата»)

Характеристика	Тульская область	Рязанская область
Среднегодовое количество осадков (мм)	470–575	500–600
Среднегодовой гидротермический коэффициент (ГТК)	1,2–1,3	1,2–1,3
Продолжительность периода (дни) со среднесуточной температурой воздуха выше 10 °С	145–148	137–149
Вероятность (%) атмосферных засух различной интенсивности за период с температурой выше 10 °С	14	17
Наиболее опасные природные явления	сильные ветра, ливневые дожди и подтопление грунтовыми водами	весенние паводки, торфяные пожары, сильные ветра

Земли сельскохозяйственного назначения занимают в Рязанской области 2466,7 тыс. га (62,3% от общей площади земель), в Тульской области – 1838,2 тыс. га (71,6%). В структуре сельскохозяйственных угодий преобладает пашня (61,9% Рязанская, 84,9% Тульская области), однако в Рязанской области доля пастбищ в структуре сельскохозяйственных земель почти в 2 раза больше, чем в Тульской области (29,3% и 16,1% соответственно).

Земли лесного фонда занимают в Рязанской области 994,4 тыс. га (25,1% от общей площади земель), в Тульской области – 286,8 тыс. га (11,2%), соответственно. Лесистость Рязанской области в среднем составляет 25,2% и варьирует по отдельным районам в зависимости от характерных для них физико-географических, климатических и почвенных условий. Согласно лесохозяйственному районированию равнинных лесов Европейской части России [Приказ от 18 августа 2014 года №367, 2023], основная часть лесов (84%) находится в северо-восточной части области и входит в зону хвойно-широколиственных лесов с лесистостью в отдельных районах до 70%. В юго-западной половине области имеющиеся леса (16%) расположены в лесостепной зоне.

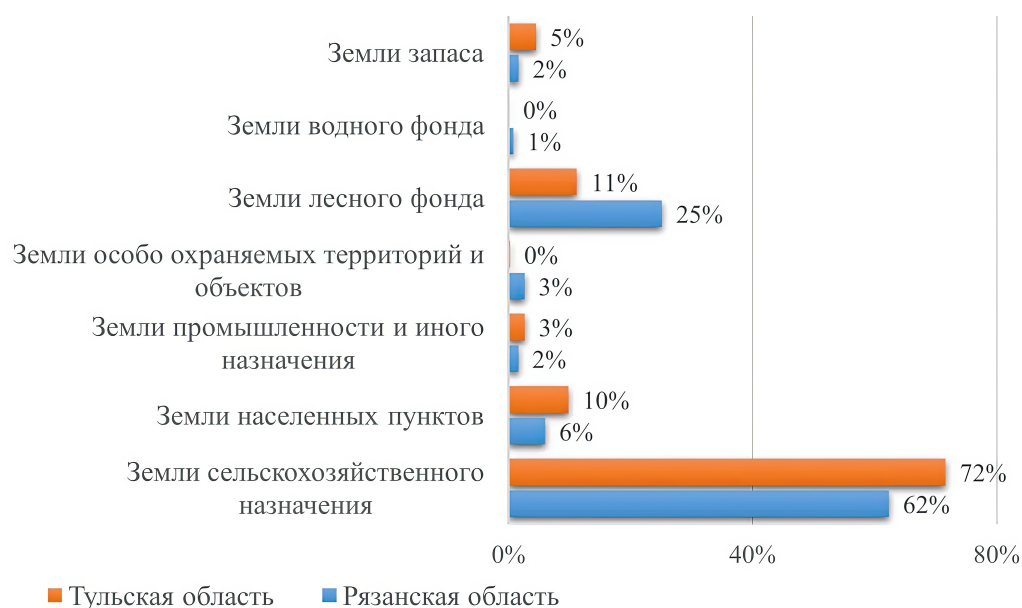


Рис. 1. Доли земель различных категорий в общей площади Рязанской и Тульской областей (по данным «Росреестр»).

Лесистость территории Тульской области – 14,3%, по отдельным районам области варьируется от 34,5% в Суворовском и 32,7% в Дубенском районах до 1,9% – в Узловском районе и 1,1% – в Новомосковском. В зоне хвойно-широколиственных лесов произрастает 70,6% от общей площади лесов области, в лесостепной зоне – 29,4%.

Основные методы

Глобальные субиндикаторы НБДЗ

Достижение НБДЗ оценивается по значению индикатора ЦУР 15.3.1. Изменение состояния земель оценивается как «ухудшение» (деградация), «стабильное», «улучшение» (проградация). Расчет производится на основе комплексной оценки значений по трем глобальным субиндикаторам НБДЗ: динамика наземного покрова, динамика продуктивности земель, динамика запасов почвенного органического углерода (ПОУ) с использованием принципа «всеобщего охвата»: ухудшение любого из этих показателей указывает на деградацию земель.

Научное описание концепции НБДЗ, определения, принципы, используемые для выбора субиндикаторов и установления исходных данных для мониторинга и дальнейшей оценки, матрица индикаторов, принципы картирования и другие методические аспекты подробно рассмотрены в [Cowie *et al.*, 2018; Orr *et al.*, 2017].

В нашей работе базовые расчеты НБДЗ проводили с помощью ГИС-модуля Trends.Earth (версия Firenze 3.28.11). Картографическая и статистическая обработка результатов проведены с использованием стандартного программного обеспечения. Работа Trends.Earth основана на анализе доступных материалов в открытых международных источниках информации – спутниковых и тематических базах данных. Инструмент Trends.Earth, обрабатывая эти данные согласно авторским запросам, позволяет получить как цифровые, так и картографические данные по каждому из субиндикаторов НБДЗ для территорий/участков с установленными границами на местности.

Алгоритм расчета основан на сравнении значений динамики показателей в течение заданного периода наблюдений с базовым периодом. По умолчанию, КБО ООН рекомендует использовать для этого 15-летний период (2000–2015 гг.), однако, инструмент обработки данных содержит возможность, при необходимости, задавать иной базовый период. В нашем случае такая необходимость (использование периода 2000–2020 гг.) была вызвана задачей исследования динамики индикатора 15.3.1 и его субиндикаторов за весь период наблюдений, для чего удобно использовать среднее (медианное) значение базовой линии за весь период оценки [Kust *et al.*, 2023]. Это позволяет нивелировать межгодовые тренды и более объективно оценить динамику показателей.

Для расчета динамики продуктивности земель используются данные ESA-CCI-LC о среднегодовых значениях вегетационного индекса NDVI, получаемого при анализе космических снимков MODIS и AVHRR. Для полученных значений строится линейная регрессия, значимость которой проверяется по критерию Манна-Кендалла; полученная вероятность превышения (*p*-value) сравнивается с уровнем значимости 0,05 [Trends.Earth User Guide, 2024].

Результаты расчета изменений продуктивности земель агрегируются в шесть классов: улучшенные территории; стабильные; угнетенные; умеренно ухудшенные; ухудшенные и территории, для которых нет данных.

Для оценки динамики наземного покрова на этом этапе работ нами использованы данные по типам наземного покрова, в целях глобального учета состояния земель, объединенных в семь основных классов [Li *et al.*, 2018; UNCCD, 2016]: лесопокрывые, травянистые, пахотные земли, водно-болотные угодья, искусственные поверхности, прочие земли и «нет данных». Переходы одного класса в другой интерпретируются в тех же трех градациях (положительный, нейтральный, отрицательный) с помощью специальной матрицы, которая отражает повышение устойчивости и продуктивности экосистем в случае «положительных» переходов, и наоборот. В модуле Trends.Earth на программном уровне реализована возможность изменения интерпретации переходов классов наземного покрова для адаптации матрицы к определенной территории. Нами на первом этапе работы использовалась матрица переходов «по умолчанию».

Для оценки изменения запасов ПОУ используется информация о запасах углерода глобальной базы данных о почвах SoilGrid (разрешение 250 м) для верхних 30 см почвы [Hengl et al., 2017]. Точность данных SoilGrid для этого показателя ограничена, поскольку он основан на экстраполяции геореференсированных данных и, как правило, не измеряется напрямую для конкретных территорий. Запасы углерода определяются как средние региональные показатели на основе класса наземного покрова (земельных угодий). Как показали наши более ранние исследования [Беляева и др., 2020; Иванов и др., 2019], в условиях России данные, полученные из глобальных источников по ПОУ, являются некорректными, что связано, прежде всего, со значительной природной дифференциацией и пространственной изменчивостью свойств почв и бедным отражением информации из российских источников в системе SoilGrid. Их корректное использование возможно только после наземной верификации с проведением почвенных обследований, что даже в масштабах одной области крайне затруднительно и требует значительных финансовых и временных затрат.

Оценка динамики субиндикаторов НБДЗ по методу скользящего среднего

Несмотря на то, что основная (заявленная разработчиками) цель инструмента Trends.Earth заключается в первую очередь в расчете индикатора «доли земель деградированных земель суши» по состоянию на момент расчета по сравнению с указанным выше 15-летним базовым периодом, промежуточные данные, получаемые в процессе его расчета, например, агрегированные по пятилеткам, позволяют более подробно отслеживать динамику деградации земель по отдельным субиндикаторам. Использование пятилетнего периода оценки в течение того же периода времени и его отнесение к среднему значению за весь период оценки позволяет с одной стороны, отразить эффекты колебаний, связанных как с климатическими, так и антропогенными воздействиями, а с другой стороны – нивелировать резкие различия по годам [Andreeva et al., 2022]. Такой подход ближе к сути концепции НБДЗ, поскольку позволяет во временном разрезе раскрывать состояние рассматриваемой территории относительно баланса между улучшением и деградацией земель.

Модификация базовой матрицы переходов наземного покрова

Суть использованного подхода в том, что на основании анализа ситуации в конкретных регионах Trends.Earth позволяет изменять оценку переходов классов наземного покрова – например, для лесных земель исследуемых областей переход пастбищ в лесопокрываемые территории следует рассматривать в качестве улучшения (переход со знаком «+»), а для сельскохозяйственных территорий, наоборот, зарастание пастбищ и их переход в лесопокрываемые земли является ухудшением (переходом со знаком «-»).

Исходя из анализа статистических и фондовых данных о динамике земель Рязанской и Тульской областей, была проведена модификация матрицы динамики наземного покрова для земель разных категорий. В настоящей работе в качестве примера рассмотрен вариант использования матрицы переходов, модифицированной с учетом особенностей изменения древесной растительности гумидных территорий (подзона южной тайги, широколиственных лесов и лесостепи). Например, исходя из местных условий, переход любого типа наземного покрова в лесопокрываемую площадь оценивается как улучшение земель, переход пахотных земель в сенокосы (пастбища) и обратный переход оценивались как нейтральный процесс и т.д. (рис. 2).

Отдельно в структуру матрицы был введен новый блок, оценивающий переходы внутри типа наземного покрова «Лесопокрываемая площадь» по виду лесов: хвойный (Л1) и широколиственный (Л2), мелколиственный (Л3). Это позволило качественно оценить как улучшение переходы лесов из мелколиственных в широколиственные или хвойные.

Для анализа переходов была сформирована векторная маска лесопокрываемых земель для обработки спутниковых изображений по ключевым участкам (рис. 3). Площадь ключевых участков составляет 5606,81 км² (Тульская область) и 6811,78 км² (Рязанская область). Выбор участков обусловлен тем, что они приурочены к пограничным

		Лесопокрываемая площадь	Травянистые сообщества и продуктивные пастбища	Пахотные земли	Водно-болотные угодья	Искусственные поверхности	Другие земли	Водные
Лесопокрываемая площадь			–	–	–	–	–	=
Травянистые сообщества и продуктивные пастбища		+	=	+	–	–	–	=
Пахотные земли		+	–	=	–	–	–	=
Водно-болотные угодья		–	–	–	=	–	–	=
Искусственные поверхности		+	+	+	+	=	+	=
Другие земли		+	+	+	+	–	=	=
Водные объекты		=	=	=	=	=	=	=

		Лесопокрываемая площадь	Травянистые сообщества и продуктивные пастбища	Пахотные земли	Водно-болотные угодья	Искусственные поверхности	Другие земли	Водные
		Л1	Л2	Л3				
Лесопокрываемая площадь	Л1	=	=	–				
	Л2	=	=	–	–	–	–	–
	Л3	+	+	=				
Травянистые сообщества и продуктивные пастбища		+			=	–	–	–
Пахотные земли		+			=	–	–	–
Водно-болотные угодья		+		+	+	=	–	=
Искусственные поверхности		+		+	+	=	+	+
Другие земли		+		+	+	–	=	+
Водные объекты		+		+	+	=	–	=

Рис. 2. Модификация матрицы переходов типов наземного покрова для оценки НБДЗ лесных земель Рязанской и Тульской областей (пояснения в тексте).

(экотонным) переходам лесной и лесостепной подзон и подвержены процессам как деградации наземного покрова, так и улучшения его продуктивности, а также включают в себя различные виды землепользования и классы наземного покрова.

Результаты и обсуждение

Сравнительная оценка деградации земель по индикатору ЦУР 15.3.1 (базовый алгоритм) и на основании статистических данных

Проведенный анализ статистических материалов по лесным и сельскохозяйственным землям Рязанской и Тульской областей за 2000–2020 гг. выявил несколько особенностей динамики землепользования, а также разночтения в данных. Так, расчетные значения показателей, полученные при анализе статистического ряда региональных данных, не всегда соответствуют значениям аналогичных показателей, используемых на федеральном уровне. При характеристике регионов на сайте Минприроды России, указывается, что лесистость Рязанской области в среднем составляет 25,2%, Тульской – 13,5%. Расчет по данным региональной статистики по использованию лесов дает более низкое значение для Рязанской области (21,3%), для Тульской области значения показателя «лесистости территории» – 14,3%.

Анализ динамики площади земель, покрытых лесной растительностью, по статистическим данным в целом за период 2000–2020 гг., показывает положительную динамику по Рязанской (+7,3%) и слабopоложительную по Тульской области (+0,01%).

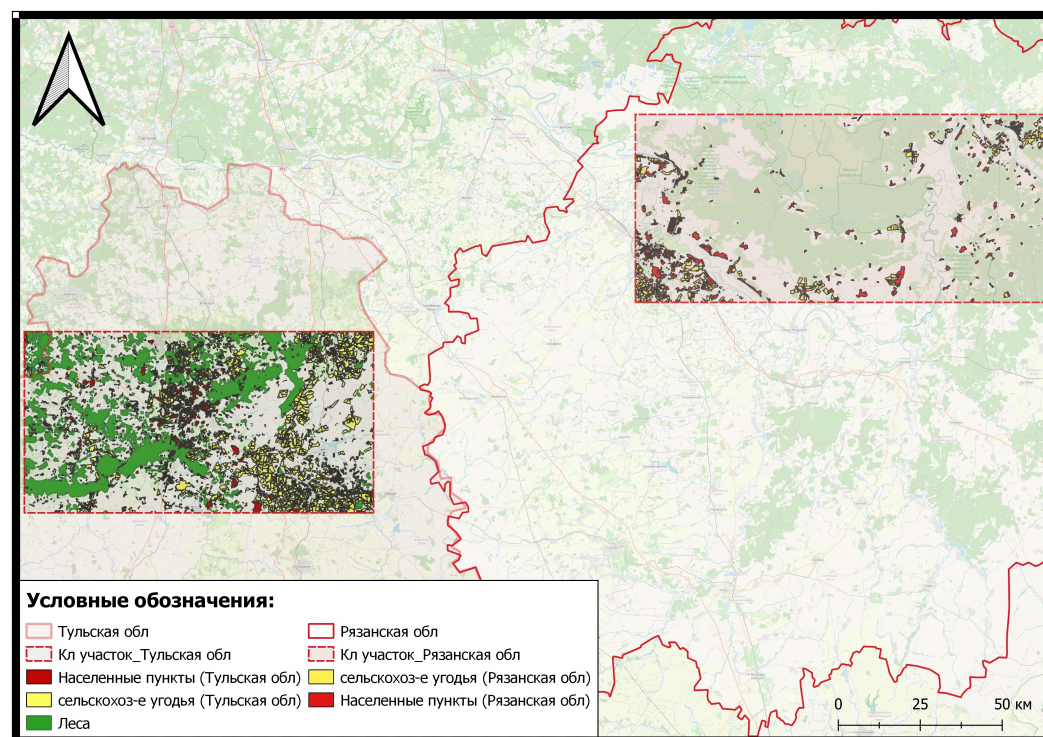


Рис. 3. Доли земель различных категорий в общей площади Рязанской и Тульской областей.

Однако, при более детальном анализе по отдельным периодам и по лесничествам Рязанской области выявлена разнонаправленность динамики этого показателя в разные годы:

- положительная (2012–2016, 2015–2019 гг. и в целом за 2000–2020 гг.);
- отрицательная (2009–2013 гг.);
- относительная стабильность (2002–2008 гг.).

Анализ динамики лесопокрытых земель по преобладающим породам (рис. 4), показал, что в целом для Рязанской области в рассматриваемый период характерен тренд, связанный с постепенной заменой породного состава лесов – выбывающие хвойные и твердолиственные породы замещаются быстрорастущим молодняком мелколиственных (преимущественно мягколиственных) пород.

Для Тульской области изменения в 2000–2023 гг. менее выражены, однако в целом подтверждают тенденцию смены породного состава лесов, выявленную в Рязанской области.

Анализ динамики площадей сельскохозяйственных угодий по статистическим данным показал, что их общая площадь в 2020 г. практически не изменилась по сравнению с 2000 г. При этом в Рязанской области почти наполовину (на 24 тыс. га) сократилась площадь залежей, в основном за счет увеличения площади кормовых угодий. Структура сельскохозяйственных угодий в Тульской области в целом осталась достаточно стабильной (за рассматриваемый период отмечены изменения в пределах 1–2%).

Результаты использования инструмента Trends.Earth при применении метода скользящего среднего для расчета доли деградированных земель от общей площади территории и субиндикаторов НБДЗ для Рязанской и Тульской областей для базового периода 2000–2020 гг. представлены на рис. 5 и в табл. 2.

В Рязанской области улучшенные земли приурочены к северной части области (зона южной тайги) и к центральной части, входящей в лесостепную зону. Очаги деградированных земель отмечаются как на месте деградирующих лесных массивов

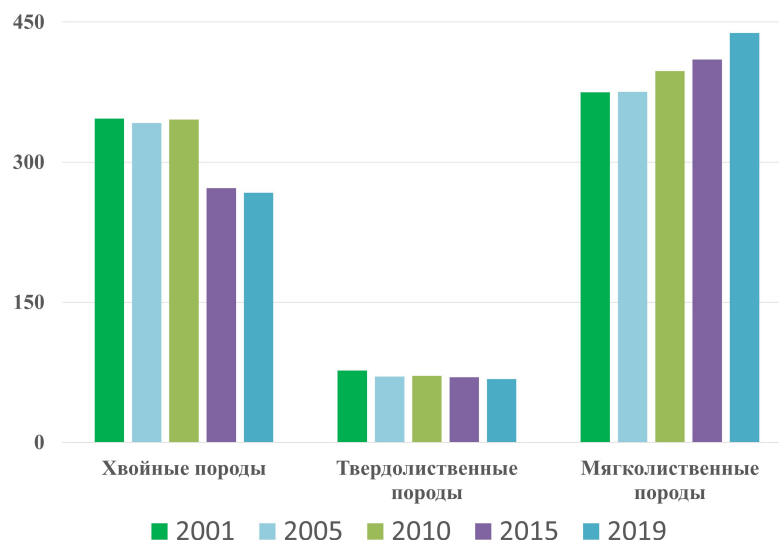


Рис. 4. Динамика лесов Рязанской области по преобладающим породам, тыс. га.

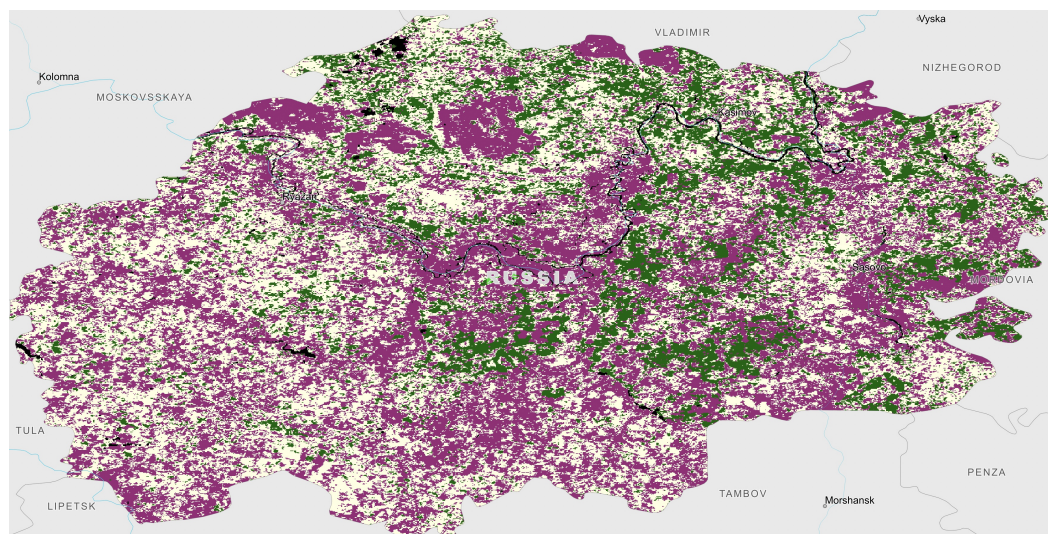
в северной части области (Криушинское, Тумское лесничества и др.), так в более освоенной под сельское хозяйство западной и юго-западной лесостепной части области (Милославский, Ухоловский районы др.).

Таблица 2. Значения индикатора ЦУР 15.3.1 и глобальных субиндикаторов НБДЗ для Рязанской и Тульской областей за 2000–2020 гг. (% от общей площади территории)

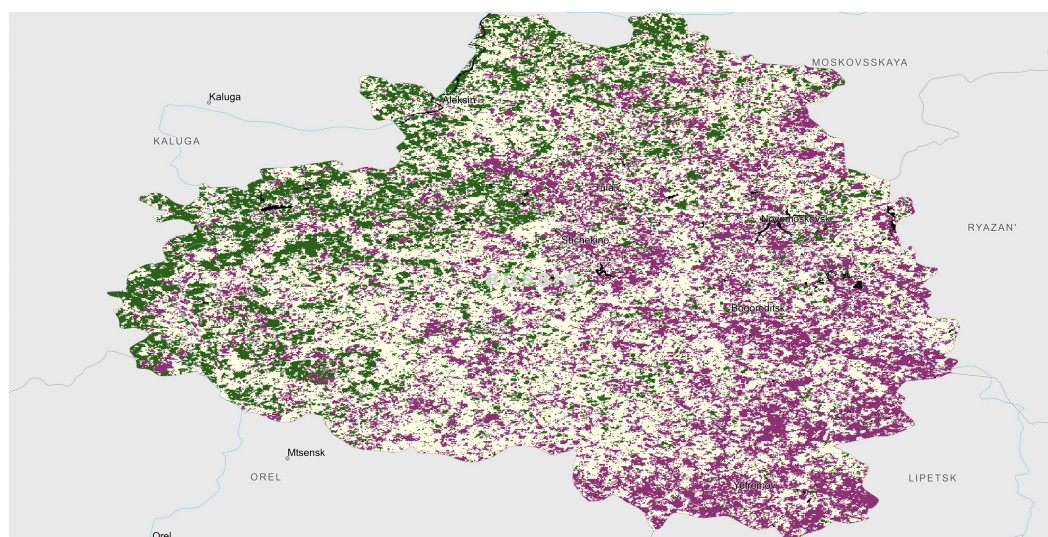
Категория качества земель	Индекс ЦУР 15.3.1	Индикаторы НБДЗ		
		Динамика продуктивности земель	Динамика наземного покрова	Динамика ПОУ
Рязанская область				
Улучшенные	17,7%	17,0%	4,14%	2,88%
Стабильные	41,4%	43,0%	93,46%	96,03%
Деградированные	39,9%	39,3%	2,40%	1,01%
Нет данных	1,0%	0,78%	0,00%	0,07%
Тульская область				
Улучшенные	18,07%	16,87%	3,56%	1,80%
Стабильные	55,08%	56,88%	95,84%	97,52%
Деградированные	26,40%	25,96%	0,60%	0,61%
Нет данных	0,45%	0,30%	0,00%	0,06%

В Тульской области наблюдается более четкое разделение по природным зонам – улучшенные земли приурочены преимущественно к северной и северо-западной частям области (подзона южной тайги), а деградированные – преимущественно к лесостепной подзоне. Несмотря на близкие физико-географические условия и примерно равную долю земель, состояние которых улучшилось за рассматриваемый двадцатилетний период, в Рязанской области доля деградированных земель в процентном отношении к общей площади почти в 1,5 раза больше, чем в Тульской.

Результаты использования модуля Trends.Earth для территорий, относящихся к южной тайге и лесостепи, подтверждают высказанное нами ранее наблюдение [Беляева и др., 2020; Иванов и др., 2019], что и для гумидных территорий «динамика продуктивности земель» является наиболее информативным из числа трех глобальных субиндикаторов НБДЗ, то есть оценка продуктивности вносит наибольший вес в информацию о деградации земель в целом, тогда как динамика наземного покрова и функционально связанная с ним (по установкам Trends.Earth) динамика ПОУ не превышает нескольких процентов.



(а) Рязанская область



(б) Тульская область

Рис. 5. Оценка индикатора ЦУР 15.3.1 для Рязанской и Тульской областей по глобальным данным за 2000–2020 гг. Динамика значения: ■ – улучшение; □ – стабильно; ■ – деградация; ■ – нет данных.

Для более полного понимания структуры произошедших процессов, рассмотрим состав наземного покрова по состоянию на 2020 г. по расчетным данным Trends.Earth (табл. 3).

Сравнительный анализ состава земель разных классов продуктивности для Рязанской и Тульской областей показывает, что в составе улучшенных земель Рязанской области преобладают лесопокрываемые и пахотные земли с примерно сопоставимой долей в общей площади данного класса земель по продуктивности (53,5 и 44,4% соответственно). Обратная картина наблюдается для Тульской области – в составе улучшенных земель преобладают пахотные земли, а лесопокрываемая площадь в их составе занимает более чем в два раза меньшую долю (69,9 и 28% соответственно). В составе умеренно ухудшенных и ухудшенных земель в обеих областях преобладают пахотные земли. Категория стабильных земель также представлена в основном пахотными землями.

Как следует из полученных данных, наибольшая динамика (как в сторону ухудшения, так и улучшения) характерна для типов наземного покрова, занимающих наибольшие площади в исследуемых областях: лесопокрываемых и пахотных земель. При-

Таблица 3. Состав земель по классам и динамике продуктивности (с использованием базовой линии, усредненной за период 2000–2020 гг.)

Тип наземного покрова	Доля в общей площади области, %	Класс земель по динамике продуктивности в 2020 г. (занимаемая площадь, км ²) / Динамика площади – 2020 г. к 2000 г., км ²				
		Улучшенные	Стабильные	Угнетенные	Умеренно ухудшенные	Ухудшенные
Рязанская область						
Лесопокрытые земли	31,8	3602,8 +1123,8	5315,9 +176,1	0,1 0,0	2390,6 +120,4	1255,5 –563,2
Травянистые сообщества и пастбища	3,8	49,6 –5,5	406,2 –0,8	0,0 0,0	836,4 +6,2	192,9 +14,9
Пахотные земли	62,5	2987,0 –1136,4	11069,8 –248,6	0,1 –0,1	7505,5 –166,5	3164,8 +514,6
Водно-болотные угодья	0,1	15,9 +0,1	13,8 +0,2	0,3 –0,1	5,0 +26,2	15,2 +9,0
Искусственные поверхности	0,9	41,3 +18,0	165,7 +72,8	0,9 +0,1	82,7 +40,2	69,9 +24,5
Другие земли	0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0
Водные объекты	0,9	37,0 +0,1	68,8 +0,3	0,6 0,00	29,4 –0,1	5,3 +0,1
Итого	100,0	6733,5	17040,2	2,0	10849,5	4703,5
Тульская область						
Лесопокрытые земли	16,9	1205,0 +524,7	2467,5 +301,7	0,0 0,0	478,2 +42,9	167,5 +5,1
Травянистые сообщества и пастбища	0,4	+30,7 –5,9	+48,7 –1,7	0,0 0,0	+10,0 –0,5	+6,0 –0,1
Пахотные земли	80,6	+3010,5 –531,0	+11744,5 –366,0	+0,2 –0,2	+3659,8 –61,1	+2144,6 –31,9
Водно-болотные угодья	0,0	3,3 –0,2	4,8 0,0	0,0 0,0	0,8 0,0	1,3 –0,4
Искусственные поверхности	1,7	+45,3 +12,3	+230,9 +66,1	+0,7 +0,2	+54,2 +18,7	+97,0 +27,3
Другие земли	0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0
Водные объекты	0,3	10,1 0,0	18,0 0,0	0,8 0,0	3,7 0,0	1,0 0,0
Итого	100,0	4304,8	14514,4	1,8	4206,7	2417,6

чем, как для Рязанской, так и для Тульской областей за рассматриваемый период четко прослеживается основной тренд – зарастание пахотных земель древесно-кустарниковой растительностью. Это хорошо подтверждается сравнением статистических данных и материалов независимой оценки, полученных нами с помощью Trends.Earth. Так, если земли лесного фонда в Рязанской области занимают 25% площади, то лесопокрываемые земли достигают 31,8%. Для Тульской области характерна та же тенденция: 11 и 16,9% соответственно.

Оценка динамики субиндикатора НБДЗ «динамика продуктивности земель» по пятилетним базовым периодам

Поскольку, как отмечено выше, динамика продуктивности земель является наиболее информативным субиндикатором для оценки НБДЗ, рассмотрим его изменения за 2000–2020 гг. по пересекающимся пятилетним периодам (метод скользящего среднего). Картографическая интерпретация динамики представлена на [рис. 6](#).

В обеих областях тренды продуктивности земель за исследуемый период сходны: наибольшее снижение (ухудшение) продуктивности земель отмечено в период с 2011–2015 и 2016–2020 гг., а относительное улучшение – в период с 2013–2017 гг. Эти данные частично совпадают с динамикой, выявленной по статистическим данным.

Результаты картографического анализа в генерализованном виде отражены на графике ([рис. 7](#)).

Наиболее вероятным объяснением отмеченных трендов разнонаправленной динамики являются климатические флуктуации, что можно проследить по изменениям среднегодовых значений температуры и количества осадков за тот же период ([рис. 8](#)): выделяются корреляции «пика» ухудшения продуктивности с засухой и пожарами 2010 г., последующее активное восстановление растительности в течение нескольких лет, и «пик» улучшения продуктивности 2017 года с благоприятными климатическими факторами (сочетание комфортных среднегодовых температур с более высоким количеством осадков).

Таким образом, состояние земель в гумидных областях, оцениваемое по глобальным субиндикаторам НБДЗ, является весьма динамичным показателем, зависящим не только от антропогенных, но и от климатических факторов. Продуктивность земель как наиболее динамичный субиндикатор чутко реагирует на изменения режимов тепла и влажности, вплоть до контрастных реакций улучшения-ухудшения, хорошо отражающихся картографически как в целом для анализируемых территорий, так и на примерах отдельных участков (горячих точек деградации).

Оценка динамики «лесопокрытых земель» на основе модифицированной матрицы переходов наземного покрова

Помимо усовершенствования алгоритма оценки продуктивности земель, одним из действенных приемов повышения достоверности оценки деградации земель является адаптация матрицы оценки переходов типов наземного покрова к местным условиям.

Результаты оценки динамики продуктивности для лесопокрытых территорий ключевых участков Тульской и Рязанской областей в сравнении с оценкой продуктивности в целом по областям и всем типам наземного покрова представлены на [рис. 9](#). Полученные данные показывают, что ключевые участки репрезентативны, поскольку расчеты для них, полученные с использованием матрицы «по умолчанию» (совпадающие периоды улучшения и ухудшения земель, величина «пику», их соотношение), практически совпадают с таковыми для соответствующих областей в целом.

Однако, в случае применения измененной матрицы переходов для отдельных типов наземного покрова (в нашем случае это лесопокрытые территории), это позволяет более детально оценить динамику их состояния и уловить отличия от изменений на других землях. Так, из данных [рис. 8](#) хорошо видно, что для лесных земель повышение продуктивности (снижение деградации) проявляется более контрастно, чем для территории ключевого участка в целом, что подтверждает важнейшую роль мероприятий по лесовосстановлению. На эти же выводы указывает и уменьшение доли лесных земель, для которых характерно снижение продуктивности, по сравнению с обобщенной оценкой.

Таким образом, для гумидных территорий разделение типов земель и модификация матриц их переходов в соответствии с местными особенностями является важным элементом анализа достижения НБДЗ, существенно уточняющим результаты общей оценки.

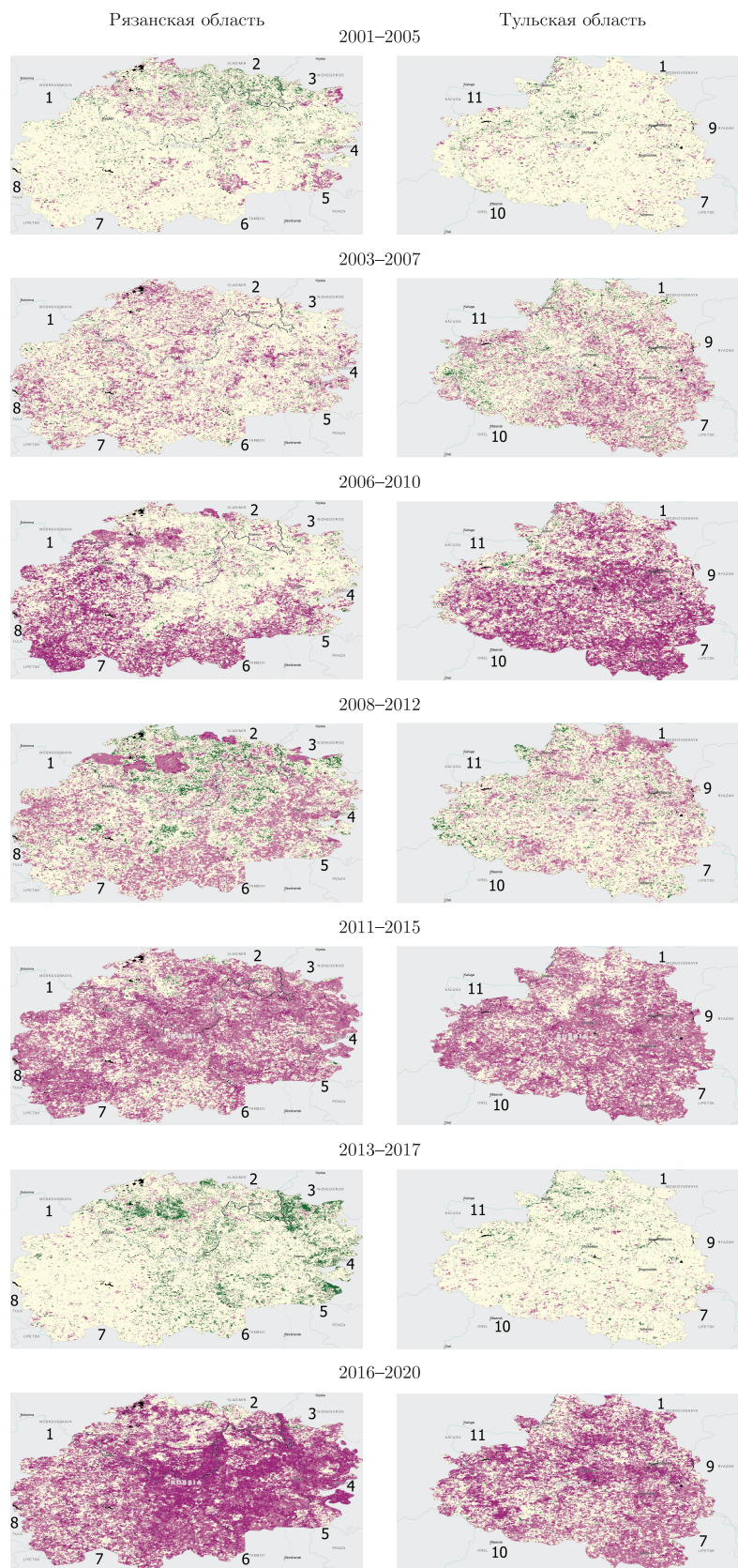


Рис. 6. Динамика продуктивности земель по пятилетним периодам за 2000–2020 гг. Динамика значения: ■ – улучшение; ■ – стабильно; ■ – деградация; ■ – нет данных.



Рис. 7. Динамика продуктивности земель для Рязанской и Тульской областей за 2000–2020 гг.

Заключение

В результате проведенных исследований получены новые данные по тенденциям деградации земель для Тульской и Рязанской областей. Впервые для этих гумидных территорий применена методологии оценки достижения нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ), ранее в основном использовавшаяся для засушливых регионов. Показано, что в целом применение этой методологии позволяет актуализировать данные официальной статистики и детализировать представления об основных направлениях деградации/проградации земель, из которых наиболее важное значение имеют тренды продуктивности земель и изменения в землепользовании (типах наземного покрова). Эти тренды хорошо интерпретируются с помощью соответствующих субиндикаторов НБДЗ.

Несмотря на статистические данные, указывающие в целом на положительную и стабильную динамику состояния земель в исследованных областях, исследование с использованием методологии НБДЗ не столь утешительно: ухудшенные и умеренно ухудшенные деградированные земли в совокупности все еще значительно преобладают над улучшенными, что требует активного вмешательства в регулирование условий

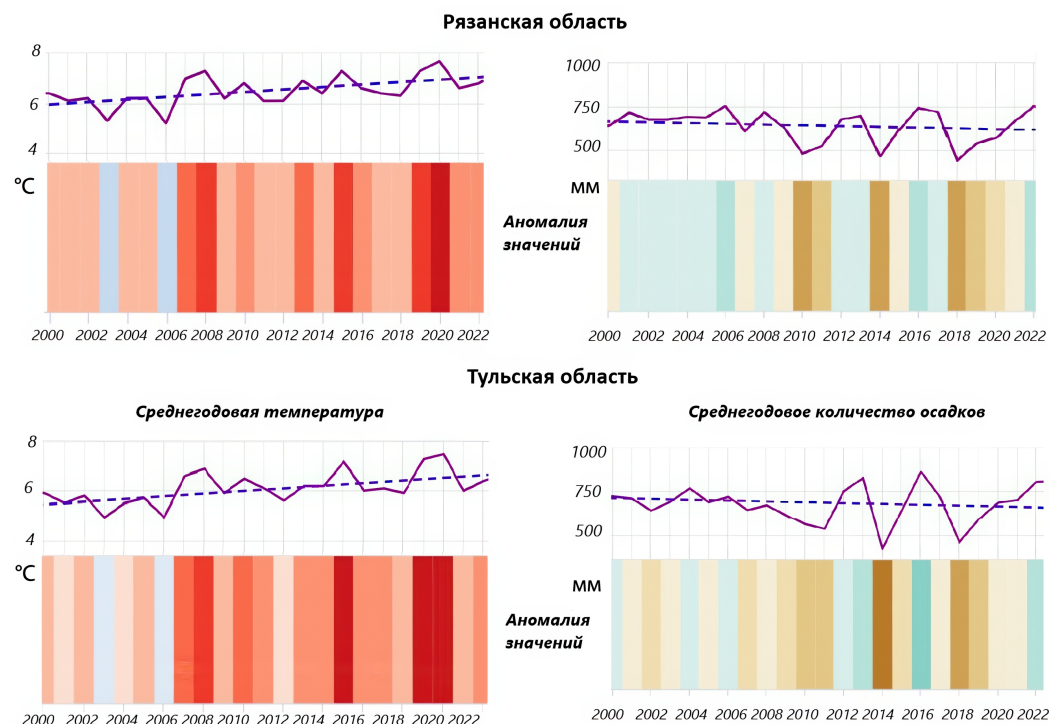


Рис. 8. Динамика и аномалии среднегодовых значений температуры и количества осадков Рязанской и Тульской областей за 2000–2022 гг. (по данным «Изменения климата»).

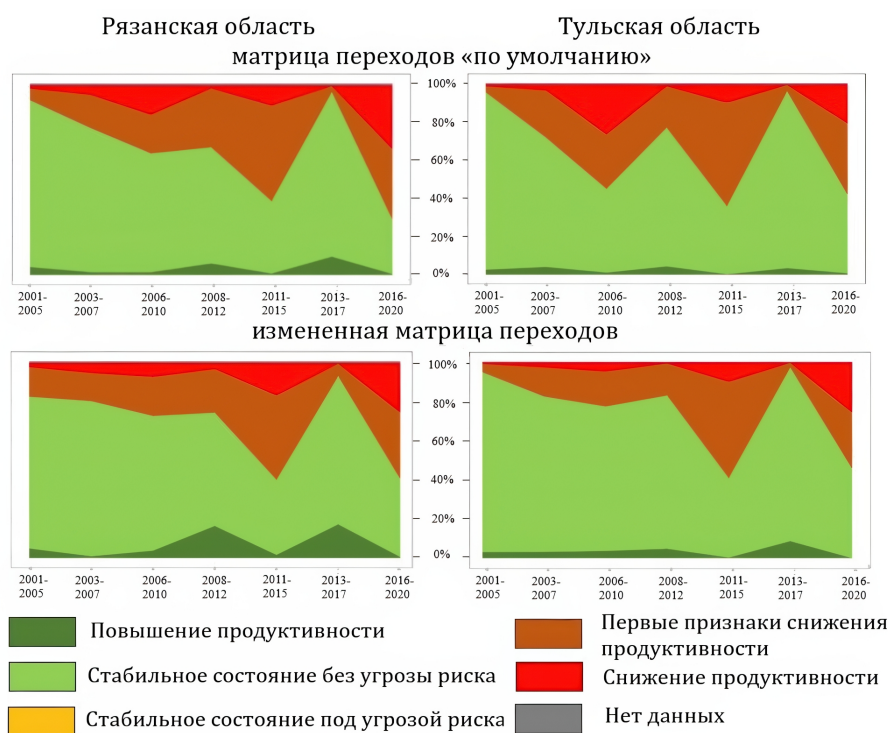


Рис. 9. Динамика продуктивности лесопокрываемых земель в 2000–2020 г. по ключевым участкам с использованием разных матриц переходов типов наземного покрова.

землепользования и использования новых методов, позволяющих изменить отмеченные тенденции на преимущественно положительные. При этом ситуация по областям несколько различна: если в Тульской области в основном деградированные земли

приурочены к лесостепной подзоне, то в Рязанской очаги деградированных земель одинаково часто встречаются также и в лесных районах.

Важным выводом работы является то, что в исследованных областях тренды деградации земель оказываются очень чувствительны даже к краткосрочным (в пределах 5–10 лет) изменениям климата, причем реакции улучшения-ухудшения на отдельных участках и в областях в целом могут быть очень контрастны. Это требует особого учета при разработке мероприятий по адаптации к изменениям климата.

Помимо общих выявленных тенденций динамики состояния земель, результаты работы позволили отметить необходимость совершенствования методологии НБДЗ: для гумидных территорий разделение типов земель и модификация матриц их переходов в соответствии с местными особенностями является важным элементом анализа достижения НБДЗ, существенно уточняющим результаты общей оценки. Так, лесопокрываемые земли показывают значительно более яркие результаты положительной динамики, чем пашня, за счет деградации последней существенно ухудшается средняя оценка НБДЗ по областям в целом.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Минобрнауки РФ (Соглашение №075-15-2024-554 от 24.04.2024)

Список литературы

- Беляева М. В., Андреева О. В., Куст Г. С. и др. Опыт оценки динамики деградации земель юга Европейской части России с использованием методологии нейтрального баланса деградации земель // Экосистемы: экология и динамика. — 2020. — Т. 4, № 3. — С. 145–165. — DOI: [10.24411/2542-2006-2020-10066](https://doi.org/10.24411/2542-2006-2020-10066).
- Иванов А. Л., Куст Г. С., Донник И. М. и др. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)». — Москва : Издательство МБА, 2019. — 476 с.
- ООН. А/RES/70/1 Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года. — Организация Объединенных Наций, 2015. — 44 с.
- Приказ от 18 августа 2014 года №367. Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации. — Москва : Минприроды России, 2023.
- Andreeva O., Sebentsov A., Kust G., et al. The Nexus Between Land Degradation, Climate Change and Migration in Central Asia. — United Nations Convention to Combat Desertification, Institute of Geography of Russian Academy of Sciences, 2022. — 42 p.
- Cowie A. L., Orr B. J., Castillo Sanchez V. M., et al. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality // Environmental Science & Policy. — 2018. — Vol. 79. — P. 25–35. — DOI: [10.1016/j.envsci.2017.10.011](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011).
- Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink G. B. M., et al. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning // PLOS ONE. — 2017. — Vol. 12, no. 2. — DOI: [10.1371/journal.pone.0169748](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748).
- Kust G. S., Andreeva O., Shklyayeva D. Application of the Concept of Land Degradation Neutrality for Remote Monitoring of Agricultural Sustainability of Irrigated Areas in Uzbekistan // Sensors. — 2023. — Vol. 23, no. 14. — P. 6419. — DOI: [10.3390/s23146419](https://doi.org/10.3390/s23146419).
- 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 Ecosystems. — 2024. — Vol. 14, no. 2. — P. 159–168. — DOI: [10.1134/s2079096124700033](https://doi.org/10.1134/s2079096124700033).
- Li W., MacBean N., Ciais Ph., et al. Gross and net land cover changes in the main plant functional types derived from the annual ESA CCI land cover maps (1992-2015) // Earth System Science Data. — 2018. — Vol. 10, no. 1. — P. 219–234. — DOI: [10.5194/essd-10-219-2018](https://doi.org/10.5194/essd-10-219-2018).
- Orr B. J., Cowie A. L., Castillo Sanchez V. M., et al. Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. — Bonn, Germany : United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), 2017.
- Trends.Earth User Guide. A new tool to assess the health of the land that supports us. — 2024. — URL: https://docs.trends.earth/en/latest/for_users/index.html (visited on 10/01/2024).
- UNCCD. Land Degradation Neutrality: The Target Setting Programme. — The Global Mechanism of the UNCCD/2016, 2016. — 68 p.

USE OF VARIABLE MATRICES OF LAND COVER CHANGES FOR THE ASSESSMENT OF LAND DYNAMICS BASED ON THE INDICATORS OF LAND DEGRADATION NEUTRALITY

G. S. Kust¹, V. A. Lobkovskiy¹, L. G. Lobkovskaya¹, V. D. Podlesnov¹, M. A. Movchan¹, A. D. Antipova¹

¹ Institute of Geography Russian Academy of Sciences (IG RAS), Moscow, Russia

****Correspondence to:** Vasilii Lobkovskiy, v.a.lobkovskiy@igras.ru.

The article presents the results of land degradation assessment for the Ryazan and Tula regions based on the concept of land degradation neutrality (LDN). For the first time the approaches were demonstrated for developing a methodology for assessing LDN sub-indicators for humid areas (using the moving average method and modified matrices of changes in land cover type). For forest lands, a matrix modified to take into account the dynamics of woody vegetation, including mutual transitions of coniferous, broad-leaved and small-leaved forests, is proposed. New data on land degradation trends for the studied territories were obtained. The possibility of using the LDN methodology to update official statistics, detail land productivity trends and land use changes is confirmed. Despite the decrease in the degradation rate, in the considered territories, degraded and moderately degraded lands in total still significantly prevail over improved ones, which requires active intervention in regulating land use conditions and the use of new methods. At the same time, the situation in the regions is somewhat different: if in the Tula region degraded lands are mainly confined to the forest-steppe subzone, then in the Ryazan region, foci of degraded lands are equally often found in forest areas. A high dependence of land degradation trends on even short-term (within 5–10 years) climate changes has been revealed. For the Ryazan and Tula regions, such reactions (improvement or deterioration) in individual areas and in the region as a whole can be very contrasting, which requires special consideration when developing measures to adapt to climate change.

Keywords: land degradation, land degradation neutrality, indicator, land productivity, land cover.

Citation: 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>, EDN: OHGVYS

Received: 30 October 2024
Accepted: 12 February 2025
Published: 2 april 2025



© 2025. The Authors.

References

- Andreeva O., Sebentsov A., Kust G., et al. The Nexus Between Land Degradation, Climate Change and Migration in Central Asia. — United Nations Convention to Combat Desertification, Institute of Geography of Russian Academy of Sciences, 2022. — P. 42.
- Belyaeva M. V., Andreeva O. V., Kust G. S., et al. Experience in assessment of land degradation dynamics of the South of European part of Russia using the methodology of land degradation neutrality // *Ecosystems: ecology and dynamics*. — 2020. — Vol. 4, no. 3. — P. 145–165. — DOI: [10.24411/2542-2006-2020-10066](https://doi.org/10.24411/2542-2006-2020-10066). — (In Russian).
- Cowie A. L., Orr B. J., Castillo Sanchez V. M., et al. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality // *Environmental Science & Policy*. — 2018. — Vol. 79. — P. 25–35. — DOI: [10.1016/j.envsci.2017.10.011](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011).
- Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink G. B. M., et al. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning // *PLOS ONE*. — 2017. — Vol. 12, no. 2. — DOI: [10.1371/journal.pone.0169748](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748).
- Ivanov A. L., Kust G. S., Donnik I. M., et al. National report «Global climate and soil cover of Russia: desertification and land degradation, institutional, infrastructural, technological adaptation measures (agriculture and forestry)». — Moscow : MBA, 2019. — P. 476. — (In Russian).

- Kust G. S., Andreeva O., Shklyaeva D. Application of the Concept of Land Degradation Neutrality for Remote Monitoring of Agricultural Sustainability of Irrigated Areas in Uzbekistan // *Sensors*. — 2023. — Vol. 23, no. 14. — P. 6419. — DOI: [10.3390/s23146419](https://doi.org/10.3390/s23146419).
- Kust G. S., Shklyaeva D. S., Lobkovskiy V. A., et al. Using the Methodology of Land Degradation Neutrality to Assess the Territory of the Caspian Region // *Arid Ecosystems*. — 2024. — Vol. 14, no. 2. — P. 159–168. — DOI: [10.1134/s2079096124700033](https://doi.org/10.1134/s2079096124700033).
- Li W., MacBean N., Ciais Ph., et al. Gross and net land cover changes in the main plant functional types derived from the annual ESA CCI land cover maps (1992-2015) // *Earth System Science Data*. — 2018. — Vol. 10, no. 1. — P. 219–234. — DOI: [10.5194/essd-10-219-2018](https://doi.org/10.5194/essd-10-219-2018).
- Order of August 18, 2014 №367. On approval of the List of forest vegetation zones of the Russian Federation and the List of forest regions of the Russian Federation. — Moscow : Ministry of Natural Resources, Environment of the Russian Federation, 2023. — (In Russian).
- Orr B. J., Cowie A. L., Castillo Sanchez V. M., et al. Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. — Bonn, Germany : United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), 2017.
- Trends.Earth User Guide. A new tool to assess the health of the land that supports us. — 2024. — (visited on 10/01/2024). https://docs.trends.earth/en/latest/for_users/index.html.
- UN. A/RES/70/1 Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. — United Nations, 2015. — P. 44.
- UNCCD. Land Degradation Neutrality: The Target Setting Programme. — The Global Mechanism of the UNCCD/2016, 2016. — P. 68.