

===== МЕТОДЫ ПОДДЕРЖАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ =====
И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 502/504

**ОПЫТ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ ЮГА
ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТОДОЛОГИИ НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ¹**

© 2020 г. М.В. Беляева* **, О.В. Андреева* **, Г.С. Куст*, В.А. Лобковский*

**Институт географии РАН*

Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный переулок, д. 29. E-mail: kust@igras.ru

***Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, МГУ, д. 1. E-mail: andreevala@yandex.ru

Поступила в редакцию 11.11.2019. После доработки 24.12.2019. Принята к публикации 01.08.2020.

Цель статьи – рассмотреть возможность применения концепции нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) и ее расчетного инструмента Тренды.Земля (Trends.Earth), рекомендуемого Конвенцией ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН), для оценки краткосрочной динамики деградации земель ряда областей Юга европейской части России (Белгородская, Воронежская, Волгоградская области, Ставропольский край). Для оценки достоверности полученных результатов проведена валидация полученных данных с помощью космических снимков. Концепция НБДЗ, широко развиваемая в последние годы КБО ООН, рассматривается в мировой науке и практике как в качестве научно-практической платформы для эффективного использования земельных ресурсов и рационального природопользования, так и для принятия соответствующих политических и хозяйственных решений.

В качестве метода исследования впервые в России применен модуль Trends.Earth ГИС-платформы Q-GIS, специально разработанный КБО ООН для оценки НБДЗ. С его помощью на основе анализа трех индикаторов: изменение наземного покрова, изменение продуктивности, изменение запасов почвенного органического углерода рассчитан интегральный показатель доли деградированных земель от общей площади исследуемых регионов за период 2001-2015 гг. Данный показатель является официально утвержденным ООН для задачи 15.3 Целей устойчивого развития ООН до 2030 года.

Установлено, что расчетный модуль Trends.Earth, рекомендуемый КБО ООН, предоставляет некоторые пространственные и количественные данные о состоянии земель на региональном уровне и может быть использован для оценки деградации земель Юга европейской части России и аналогичных территорий в качестве предварительной оценки НБДЗ. Для более точных расчетов требуется дальнейшее совершенствование метода и адаптация его для разных регионов России, в частности, на основании данных о пространственном распределении и динамике запасов почвенного органического углерода.

Проведенные расчеты показывают, что наземный покров является относительно мало изменяющимся индикатором динамики земель для освоенных сельскохозяйственных регионов; более динамичным параметром является изменение продуктивности. Сравнение исследованных регионов по потенциалу восстановления земель на основе предложенного Индекса НБДЗ

¹ Исследование выполнено в рамках Государственного задания ФГБУН ИГ РАН № 0127-2019-0010 «Разработка научных основ устойчивого управления природно-антропогенными системами на основе моделей сбалансированного землепользования», сбор данных в экспедиционных исследованиях проведен по программе гранта РФФИ 18-17-00178 «Развитие фундаментальной концепции нейтрального баланса деградации земель для оценки эффективности мероприятий по устойчивому землепользованию и адаптации к изменениям климата».

показал, что наибольшим потенциалом обладают Белгородская и Воронежская области, а наименьшим – земли Волгоградской области, где доля деградированных земель существенно выше восстановленных за тот же период времени.

На основании показателя доли деградированных земель от общей площади территории, исследуемые регионы можно ранжировать в следующем порядке: Ставропольский край (29.5%), Белгородская область (34.4%), Воронежская область (34.7%), Волгоградская область (62.0%). Установлено, что рассмотренные регионы отличаются высокой долей приращения деградированных земель за последние 15 лет, несмотря на проводимые почвозащитные и природоохранные мероприятия.

Валидация полученных данных, проведенная с помощью космических снимков, показала, что в целом для уровня отдельных областей предложенный механизм отражает основные тенденции деградации земель, однако для более детальных исследований в крупном масштабе требуется разработка более сложных алгоритмов с использованием космических снимков и данных более высокого разрешения.

Ключевые слова: нейтральный баланс деградации земель, Юг России, индикаторы нейтрального баланса деградации земель, Trends.Earth.

DOI: 10.24411/2542-2006-2020-10066

Нейтральный баланс деградации земель (НБДЗ; исходное название «Land Degradation Neutrality» (LDN)) – новейшая концепция, разрабатываемая в рамках деятельности Конвенцией ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН), позволяющая осуществлять мониторинг состояния земель с помощью минимального набора основных глобальных индикаторов. 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, 2015).

К основным глобальным индикаторам НБДЗ относят динамику наземного покрова, динамику продуктивности земель, динамику запасов почвенного органического углерода (ПОУ). Комплексное использование указанных индикаторов позволяет делать заключения о динамике деградации земель в пределах определенной территории на основе интегрального показателя доли деградированных земель от общей площади, занимаемой наземными экосистемами на анализируемой территории. Последний является официально утвержденным показателем выполнения задачи 15.3 Целей устойчивого развития ООН (ЦУР) до 2030 года (Повестка ... 2030, 2015).

Целью данного исследования было исследовать и показать возможности применения методологии НБДЗ и предлагаемых КБО ООН расчетных методов для оценки динамики состояния земель на примере нескольких областей Юга европейской части России, в том числе: (а) охарактеризовать изменения наземного покрова (по типам землепользования и характеру переходов между ними), изменения продуктивности (по интенсивности изменения), и изменения запасов ПОУ за период 2001–2015 гг. для исследуемых регионов; (б) провести валидацию полученных данных с помощью космических снимков за разные временные периоды.

Методы

В основе исследования лежит инструмент Trends.Earth, разработанный специально для оценки НБДЗ и реализованный в качестве отдельного модуля ГИС платформы Q-GIS (Trends.Earth, 2018). Работа этого инструмента основана на анализе множества спутниковых данных и материалов, представленных в открытых международных источниках информации, которые при использовании алгоритма данного модуля преобразуются в информацию о

состояния земель по четырем описанным выше индикаторам НБДЗ. Полученные с помощью этого инструмента данные включаются в глобальную систему мониторинга деградации земель, принятую КБО ООН, и рекомендуются для использования на уровне отдельных стран и регионов.

Инструмент Trends.Earth (2018) позволяет получить как статистические (таблицы), так и картографические (растровые карты) данные по каждому из индикаторов НБДЗ. Получаемые на этой основе картографические материалы имеют пространственное разрешение 250-300 м в пикселе.

Для оценки *динамики наземного покрова* используются данные по наземному покрову за текущий год, который сравнивается с базовым годом. Все типы наземного покрова (37 исходных классов, рекомендованных Межправительственной группой экспертов по изменению климата (IPCC, 2006; табл. 1) в целях глобального учета объединены в 7 классов (UNCCD, 2016a, b; Li et al., 2017). Так, например, в класс «сельскохозяйственные угодья» (Croplands) попадают не только пахотные земли, но и сенокосы, многолетние насаждения, а также мозаики мелкоконтурных полей в сочетании с другими угодьями. Важно отметить, что при интерпретации картографических материалов, отражающих эти классы, их сложно прямо сравнивать с классификацией земель, принятой в России, поэтому некоторые расхождения официальных статистических материалов с получаемыми данными, рассчитанными с помощью Trend.Earth неизбежны. Такие данные следует рассматривать в качестве дополнительных к данным официальной статистики. Их значение заключается в возможности получения сравнительных данных по единой методике обработки достоверных материалов для глобальных оценок и сравнения с другими странами.

Переходы одного класса в другой интерпретируются в терминах «положительный, нейтральный, отрицательный», что подразумевает, например, повышение устойчивости и продуктивности экосистем в случае «положительных» переходов и наоборот (табл. 2). Модулем Trends.Earth задана матрица трансформаций наземного покрова по умолчанию, которая может быть изменена пользователем для адаптации к определенной территории. В рамках данного исследования была использована классификация деградации и улучшения «по умолчанию».

Так, например, согласно этой матрице, к деградационным процессам относятся: переход из лесных территорий в любой другой класс угодий, переход из территорий с луговой растительностью в болота, в территории под застройками и в неудобья, переход сельскохозяйственных земель в территории с луговой растительностью, в болота, в земли под застройками и в неудобья. К положительным тенденциям относят переход земель под застройками в любой другой класс наземного покрова, переход территорий с луговой растительностью в территории с лесными насаждениями и сельскохозяйственные угодья, переход сельскохозяйственных территорий в лесные территории, переход неудобий в любую другую категорию, за исключением перехода в земли под застройкой.

Для расчета *динамики продуктивности наземного покрова* используется среднегодовое значение вегетационного индекса NDVI, получаемого при анализе космических снимков MODIS и AVHRR. Результаты расчета изменений продуктивности наземного покрова агрегируются в 6 классов: улучшенные территории; стабильные; угнетенные; умеренно ухудшенные; ухудшенные; территории, для которых нет данных.

Изменения запасов ПОУ – наиболее трудно оцениваемый индикатор. Сложности его подсчета связаны с высокой пространственной изменчивостью свойств почв, а также необходимостью проведения почвенных обследований, которые требуют больших денежных и временных затрат.

В модуле Trends.Earth используется информация о запасах углерода глобальной базы данных о почвах SoilGrid (разрешение 250 м) для верхних 30 см почвы. SoilGrid – система

для автоматического картографирования почв и их свойств, в основе которой лежат статистические модели и алгоритмы машинного обучения (Hengl et al., 2017).

Таблица 1. Категории наземного покрова согласно рекомендациям КБО ООН (Деградация земель ..., 2019). **Table 1.** Land cover categories according to recommendations of the UNCCD (Деградация земель ..., 2019).

№	Обобщённые категории	Краткое описание	Классы наземного покрова и их числовые коды по LC CCI
1	Леса	Преобладают естественные леса с проективным покрытием 15% и более. Этот класс также включает: -мозаичный древесно-кустарниковый (>50%)/ травяной покров	Широколиственные вечно-зеленые леса (50), Широколиственные листопадные леса (60, 61, 62), Хвойные листопадные леса (80, 81, 82), Хвойные вечнозеленые леса (70, 71, 72), Смешанные леса (90), Мозаики древесно-кустарниковой растительности (>50%) и травяного покрова (100)
2	Кустарники, травяные лугопастбищные угодья и участки с редкой растительностью	Преобладают: -естественная кустарниковая растительность; или естественная травяная растительность; или разреженная естественная растительность с проективным покрытием 15% и менее. Этот класс также включает: -мозаичный естественный покров (>50%) /зерновые культуры, -мозаичный травяной покров (>50%)/ деревья и кустарники	Мозаики естественной (не относящейся к лесам) растительности (>50%) / пахотных земель (40), Мозаики травяного (>50%) и древесно-кустарникового покрова (110), Закустаренные территории (120, 121, 122), Травяная растительность (130), Лишайники и мхи (140), Разреженная растительность (менее 15% проективного покрытия; 150, 152, 153)
3	Сельскохозяйственные угодья	Преобладают: -травянистые культуры (зерновые) -древесные культуры -смешанные травяные и древесные культуры; Этот класс также включает: -мозаичный покров зерновых культур (50%) / естественной растительности	Богарные угодья (10), Травяной покров (11), Древесно-кустарниковый покров (12), Пахотные земли, орошаемые или после затопления (20), Мозаики пахотных земель/ природной растительности (30)

Продолжение Таблицы 1.

№	Обобщённые категории	Краткое описание	Классы наземного покрова и их числовые коды по LC ССИ
4	Водно-болотные угодья	Преобладают: -кустарниковая или травяная растительность, Водные или регулярно затопляемые культуры; -мангры; -водные объекты (природные/искусственные, стоячие/проточные, внутренние/морские); -леса, сезонно или постоянно затопляемые водой	Древесный покров, затопляемый пресными водами (160), Древесный покров, затопляемый засоленными водами (170), Кустарниковый и травяной покров, затопляемый пресными водами (180), Водные объекты (210)
5	Искусственные поверхности	Преобладают искусственные поверхности, включая городские (городские парки), транспортная инфраструктура, промышленные площади, сгоревшие участки, места скопления отходов и горных разработок	Городские территории (190)
6	Другие земли	Преобладают: -оголенные участки поверхности, -снег и ледники	Оголенные территории (200), Территории со снежным покровом и льдом (201, 202, 220), Прочие земли (221)

Данные, имеющиеся по данному индикатору в системе SoilGrid, в настоящее время пока что отличаются неточностью, так как они построены по модельным данным, а не определяются напрямую на конкретную территорию (Деградация земель ..., 2019). Запасы углерода рассчитываются как средние по региону в зависимости от класса наземного покрова.

Показатель доли деградированных земель от общей площади суши (индикатор ЦУР ООН 15.3) рассчитывается путем наложения картографических слоев трех индикаторов, приведенных выше, по принципу «всеобщего охвата», то есть если хотя бы один из индикаторов в пределах конкретного пиксела картографируемой территории указывает на деградационные тренды, то этот объект относят к деградирующему. В зависимости от сочетания индикаторов тренды изменений этого интегрального показателя относят к категориям «улучшение», «стабильность» или «ухудшение». Примеры сочетаний и соответствующих трендов приведены в таблице 2.

Несомненным преимуществом данной системы оценки является ее гибкость и возможность для исследователя менять вводные данные в зависимости от специфики территории и целей исследования, например, задавать базовые и текущие периоды, а также характер переходов классов наземного покрова. Данный метод позволяет проводить анализ состояния и динамики земель по разным регионам и субъектам, сравнивать их между собой и при этом осуществлять мониторинг без значительных временных и финансовых затрат.

Таблица 2. Принципы интеграции субиндикаторов ЦУР 15.3 (Trends.Earth, 2018).
Table 2. Principles of SDG 15.3 sub-indicators integration (Trends.Earth, 2018).

Улучшение	Улучшение	Улучшение	}	→	Улучшение	
		Стабильность			Стабильность	
		Дegradация			Дegradация	
	Стабильность	Стабильность			Улучшение	Улучшение
					Стабильность	Стабильность
					Дegradация	Дegradация
		Дegradация			Улучшение	Дegradация
					Стабильность	Улучшение
					Дegradация	Дegradация
Дegradация	Улучшение	Улучшение	}	→	Дegradация	
		Стабильность			Улучшение	
		Дegradация			Дegradация	
	Стабильность	Стабильность			Улучшение	Улучшение
					Стабильность	Стабильность
					Дegradация	Дegradация
		Дegradация			Улучшение	Дegradация
					Стабильность	Улучшение
					Дegradация	Дegradация

Объекты исследования

Исследования проводились для территорий четырех регионов, интенсивно используемых в сельском хозяйстве и испытывающих разнообразные антропогенные воздействия, характеризующиеся деградацией земель с одной стороны, и восстановлением некоторых участков, с другой: Белгородская область, Воронежская область, Ставропольский край и Волгоградская область.

Результаты и обсуждение

Динамика наземного покрова. Согласно расчетам, полученным с использованием Trend.Earth, наземный покров всех исследуемых регионов характеризуется преобладанием сельскохозяйственных территорий (рис. 1 и 2). На 2015 год для Белгородской области территория, занимаемая сельскохозяйственными землями, составляет 88.5%, для Воронежской области – 84.6%, для Ставропольского края – 80.6%, для Волгоградской

области – 64.1%. На остальные классы наземного покрова приходится не более 20% за исключением Волгоградской области, в которой существенная доля территорий (28.1%) приходится на пастбища и травянистые сообщества. Так же значительные территории травяной растительностью заняты в Ставропольском крае, что составляет 15.7% от общей площади области. Вместе с тем, как отмечалось выше, эти данные нельзя впрямую сравнивать со статистическими материалами, поскольку они получены с использованием разных подходов. Тем не менее, в целом они соответствуют официальным данным Росреестра, согласно которым сельскохозяйственные угодья по состоянию на 1 января 2016 г. занимают в Белгородской области 78.7%, в Воронежской области – 78.1%, в Ставропольском крае – 87.5%, в Волгоградской области – 77.6% (ЕМИСС, 2019).

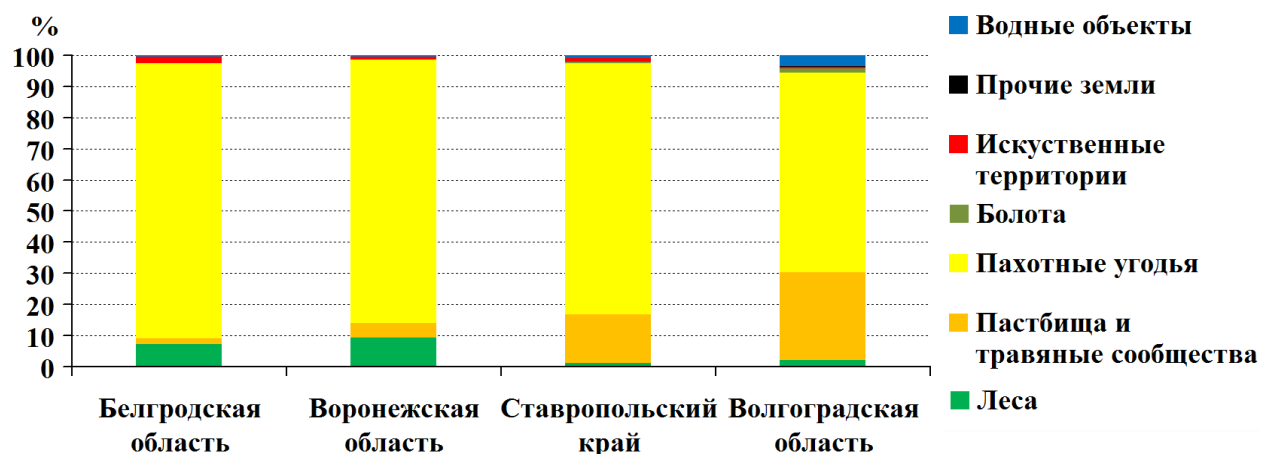


Рис. 1. Классы наземного покрова для исследуемых регионов (по состоянию на 2015 год).

Fig. 1. Land cover classes of investigated regions (as of 2015).

В Белгородской и Воронежской областях сельскохозяйственные угодья располагаются на относительно равнинных территориях, луговая растительность характерна для склонов балок и оврагов, а леса находятся преимущественно в поймах рек и на пологих склонах балок. Лесополосы и древесные насаждения, закрепляющие овраги, при используемом масштабе практически не отражаются.

На территории Волгоградской области и Ставропольского края выражены два класса преобладающего наземного покрова: сельскохозяйственные угодья и пастбища с травяной растительностью. Так, например, для западной части Ставрополя с преобладанием черноземов, характерно использование в сельском хозяйстве практически всей пригодной для этого территории. В восточной части доминирующим классом наземного покрова являются пастбища. Для них характерны малопродуктивные каштановые и солонцеватые почвы, не пригодные для использования под пахотные территории. Лесная растительность при данном масштабе рассмотрения фиксируется в основном только по поймам рек, а большинство пологих балок также распаханы или используются под пастбища. Для Волгоградской области характер наземного покрова в целом близок Ставрополю (рис. 2).

В таблице 3 представлены результаты анализа динамики наземного покрова исследуемых областей.

Как видно из приведенных данных, наземный покров является относительно мало изменяющимся индикатором динамики земель для освоенных сельскохозяйственных регионов, которыми являются исследуемые области. Его изменения не превышают 2%, за исключением Ставропольского края, для которого характерно возвращение больших массивов залежных земель в пашню в последние годы (Деградация земель ..., 2019).

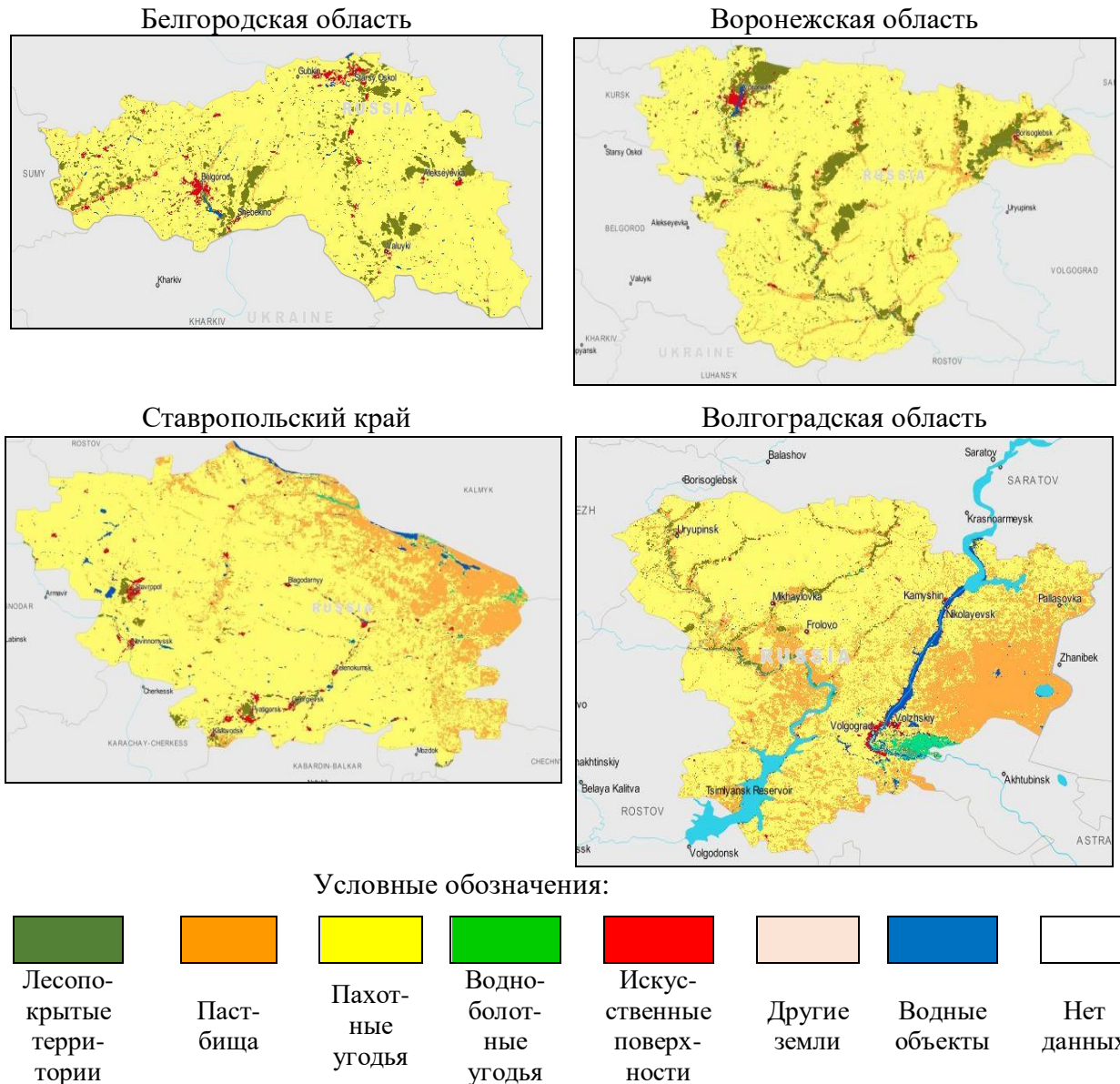


Рис. 2. Состояние наземного покрова исследуемых областей по состоянию на 2015 год (легенда аналогична рисунку 1). **Fig. 2.** Land cover of investigated regions as of 2015 (the descriptive text is similar to figure 1).

Таблица 3. Динамика и характер изменений наземного покрова за период 2001-2015 гг.
Table 3. Dynamic and nature of changes of land cover for 2001-2015.

Название субъекта	Изменившиеся территории		Улучшенные	Ухудшенные
	км ²	%	%	%
Белгородская область	223	0.8	0.06	0.74
Воронежская область	502	0.96	0.13	0.83
Ставропольский край	6361	9.63	9.02	0.61
Волгоградская область	2136	1.95	0.86	1.09

Проверка достоверности полученных данных по трансформации наземного покрова проводилась путем сопоставления с космическими изображениями. В целом, при относительно мелком масштабе рассмотрения (на уровне области или даже отдельных районов) данные, получаемые с использованием методологии Trends.Earth, оказываются вполне сопоставимыми с космическими снимками и отражают общий характер динамики наземного покрова на территории исследуемых объектов.

Относительно хорошо идентифицируются отдельные преобразования, например, связанные с вырубками (рис. 3 А) или возвращением залежей в пашню (рис. 3 Б). Однако, для малых площадей (в несколько пикселей в растровых картах) многие переходы между классами наземного покрова, установленные по данным Trends.Earth, ошибочны, особенно для малых площадей. Для всех исследуемых регионов ошибки схожи и не отражают особенностей регионов (рис. 4).

Наиболее распространенными ошибками являются: некорректная интерпретация изменений на стабильных во времени лесных (рис. 4 А) и пахотных (рис. 4 Б) угодьях, нечеткое распознавание территории застройки, особенно на землях давнего освоения (например, в селах или садово-огородных участках; рис. 4 В). Вместе с тем, несмотря на отдельные ошибки, их доля в общем числе идентифицированных переходов составляет не более 10-20%, что в целом на фоне слабых изменений наземного покрова в исследуемых регионах составляет незначительную величину.

Динамика продуктивности земель. Согласно данным, полученным с использованием модуля Trend.Earth (рис. 5), и нашим расчетам (табл. 4), в Белгородской и Воронежской областях преобладают территории с улучшенной за период 2001-2015 гг. продуктивностью земель (50.4% и 42% соответственно). В Ставропольском крае преобладают стабильные территории, а в Волгоградской области – угнетенные и умеренно-ухудшенные по данному показателю.

Как следует из полученных результатов, продуктивность является для данных территорий более динамичным параметром по сравнению с наземным покровом: территории, не относящиеся к стабильным по данному параметру, составляют более половины территории во всех регионах.

При сопоставлении картографических данных Trends.Earth с космическими снимками, фоновыми и литературными данными был выявлен ряд закономерностей.

Так, практически во всех регионах хорошо фиксируется снижение продуктивности сельскохозяйственных угодий при активно развивающихся эрозионных процессах (рис. 6).

Наибольшая доля земель с падающей продуктивностью характерна именно для территорий с растущими оврагами и сильно эродированными почвами.

Вместе с тем, стабильные, хотя и сильно эродированные территории, не получают отражения на картах Trend.Earth, поскольку динамические процессы на них отсутствуют.

Помимо водной эрозии, снижение продуктивности за 15 лет хорошо диагностируется в случае роста переувлажнения территории (рис. 7 А), засоления и замочаривания (рис. 7 Б), деградации пастбищ (рис. 7 В).

Эродированные земли часто имеют двухстороннюю динамику продуктивности. Так, на максимально эродированных землях, где эрозионные процессы уже затухают, начинает развиваться растительность, которая повышает продуктивность земель. И наоборот, земли, на которых эрозионные процессы прогрессируют, имеют отрицательную динамику продуктивности (рис. 8).

Повышение продуктивности в большинстве случаев связано с зарастанием (повышением густоты и ростом) древесной растительностью (рис. 9 А), зарастанием оврагов (рис. 9 Б), улучшением почв и применением эффективных технологий в пахотном земледелии (рис. 9 В).

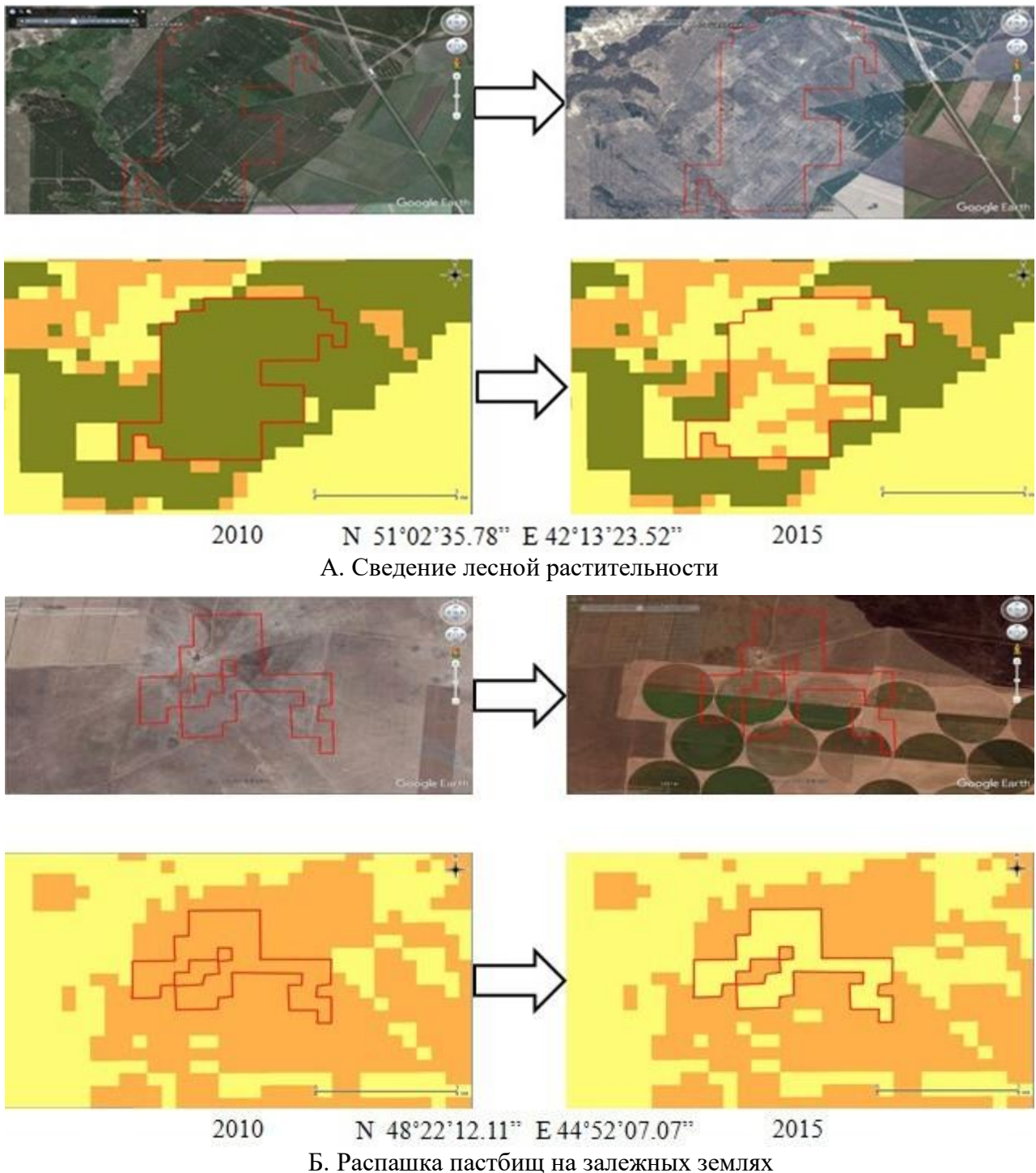
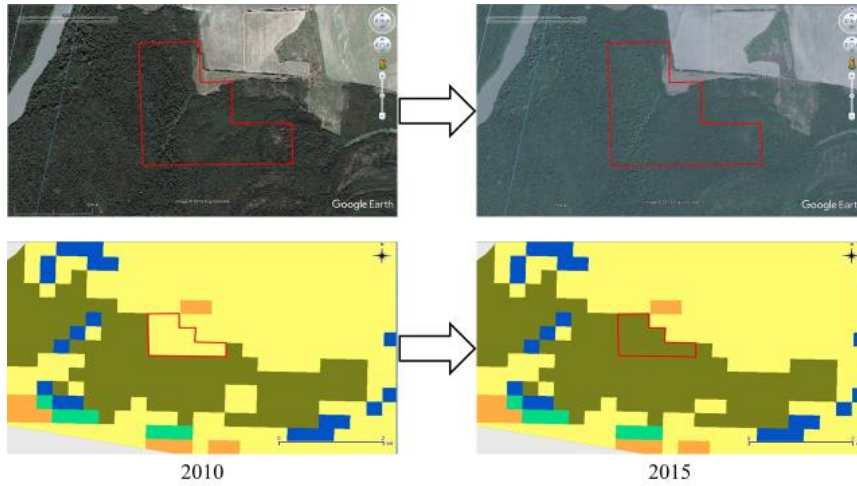
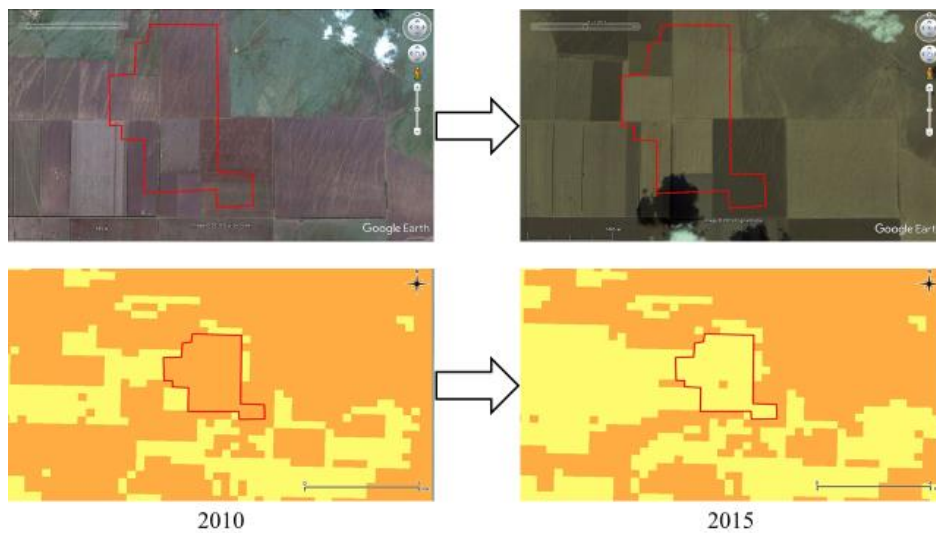


Рис. 3. Типы преобразований наземного покрова для отдельных участков исследуемых регионов (легенда аналогична рисунку 1). **Fig. 3.** Types of land cover transformations for individual sections of the investigated regions (the descriptive text is similar to figure 1).

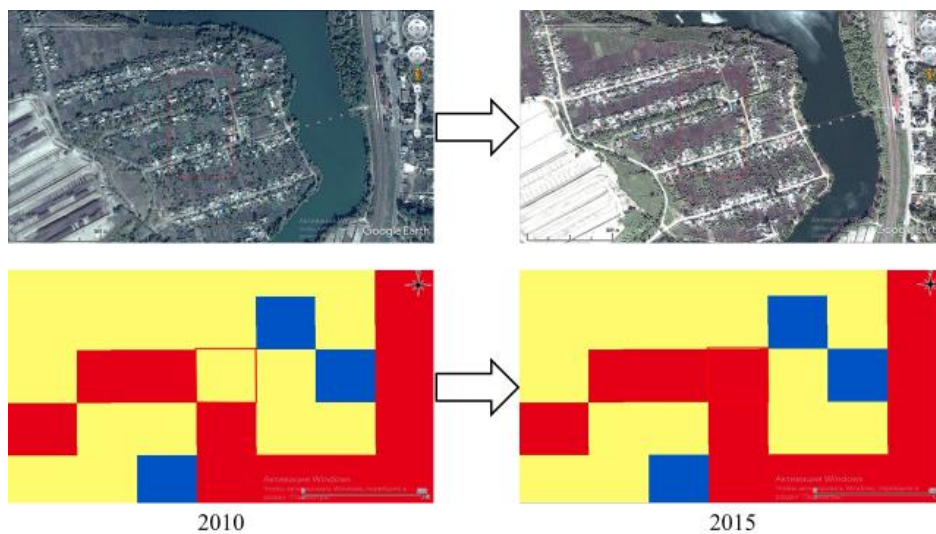
Для Белгородской и Воронежской областей в основном зарастание древесной растительностью происходит по склонам балок или после вырубок, что приводит к повышению индекса NDVI. Для Волгоградской области единственным типом земель с положительным трендом продуктивности являются пойменные территории, отмечены также редкие случаи зарастания опустыненных земель кустарниковой растительностью.



А. Некорректная интерпретация зарастания пашни при стабильном лесном покрове



Б. Некорректная интерпретация перехода залежных земель в пахотные при стабильных пахотных угодьях



В. Некорректная интерпретация динамики застройки

Рис. 4. Некорректная интерпретация переходов классов земель. **Fig. 4.** Incorrect interpretation of the transitions of the land classes.

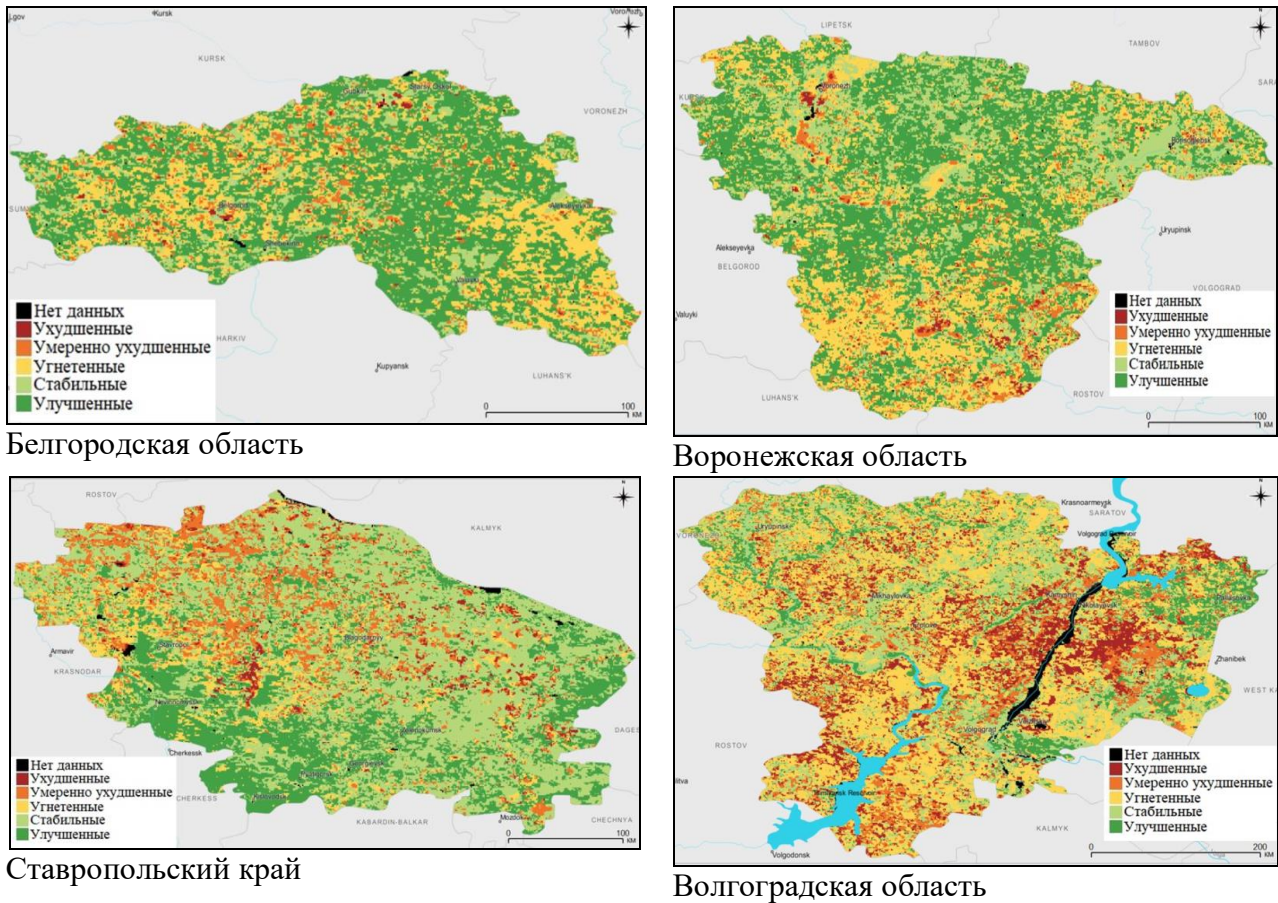


Рис. 5 Динамика продуктивности наземного покрова исследуемых областей за 2001-2015 год (легенда аналогична цветовой гамме в таблице 3). **Fig. 5.** Dynamics of land productivity in the study areas for 2001-2015 (the descriptive text is similar to the color scheme in table 3).

Таблица 4. Динамика наземной продуктивности и изменение урожайности за период 2000-2015 гг. (% от территории областей и в км²). **Table 4.** Dynamics of land productivity and changes of crop capacity for 2000-2015 (% of the territory of the regions and in square kilometers).

Название субъекта	Изменившиеся (Всего)		Улучшенные территории		Стабильные территории		Угнетенные территории		Умеренно ухудшенные		Ухудшенные территории		Нет данных	
	%	км ²	%	км ²	%	км ²	%	км ²	%	км ²	%	км ²	%	км ²
Белгородская область	84.2	13942	50.4	13912	15.7	4338	27.1	7469	5.9	1633	0.7	200	0.1	30
Воронежская область	76.6	39886	42.3	22031	23.2	12090	26.9	14011	6.1	3183	1.3	661	0.1	74
Ставропольский край	51.9	34290	26.9	17755	47.9	31660	10.1	6698	12.0	7958	2.8	1879	0.1	94
Волгоградская область	73.1	79753	11.1	12066	26.5	28902	36.7	40075	12.3	13459	13.0	14153	0.4	431

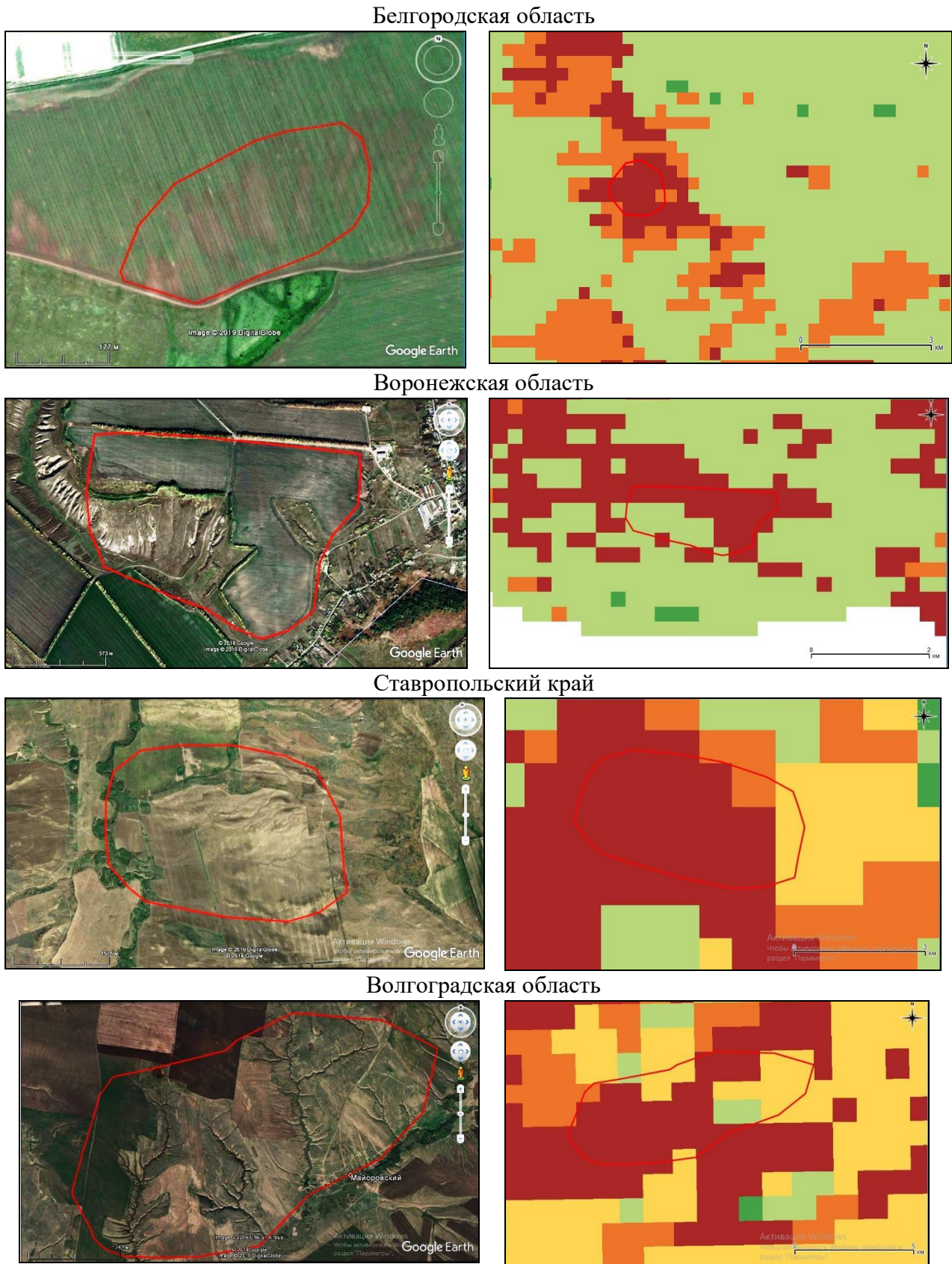
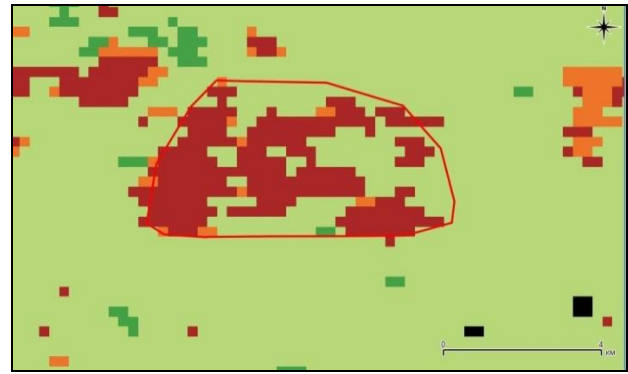


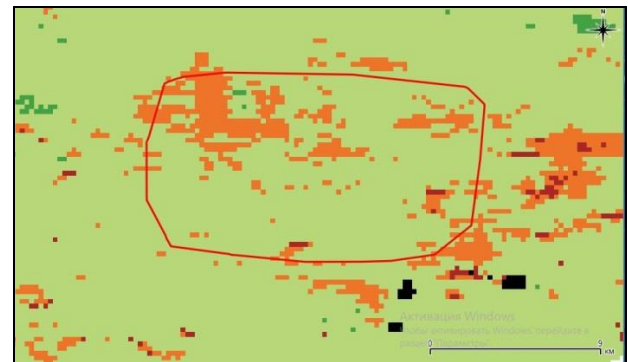
Рис. 6. Эрозионные процессы и снижение продуктивности пахотных земель (легенда аналогична цветовой гамме в таблице 3). **Fig. 6.** Erosion processes and decrease of crop capacity of croplands (the descriptive text is similar to the color scheme in table 3).



А. Снижение продуктивности при переувлажнении и заболачивании (Воронежская область)



Б. Снижение продуктивности при замочаривании и засолении (Ставропольский край)



В. Снижение продуктивности при деградации пастбищ и опустынивании (Ставропольский край)

Рис. 7. Примеры снижения продуктивности земель. **Fig. 7.** Examples of land productivity decrease.

При анализе динамики продуктивности были выявлены ситуации, когда деградационные процессы в ландшафтах не обязательно приводят к ухудшению продуктивности. Так, даже сильно опустыненные земли могут показывать стабильное состояние по индикатору динамики продуктивности. Данная особенность связана с тем, что при максимальной степени деградации дальнейшее снижение продуктивности земель невозможно, и такое «стабильно плохое» состояние все равно характеризуется как стабильное.

Содержание почвенного органического углерода. Метод оценки динамики деградации земель с использованием расчетного модуля Trands.Earth исходит из того, что изменения в запасах почвенного органического углерода происходят не независимо, а связаны с изменениями наземного покрова. «Негативные» изменения наземного покрова (согласно приведенной выше матрице переходов) приводят к уменьшению содержания почвенного органического углерода и наоборот.

Улучшение продуктивности



Ухудшение продуктивности

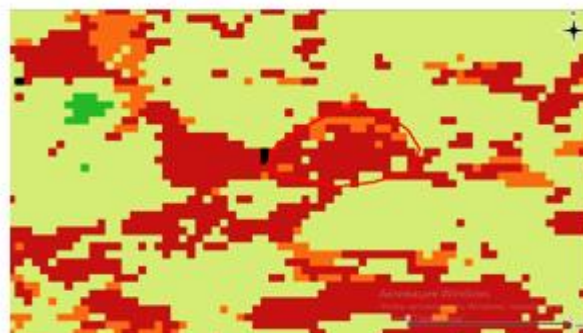
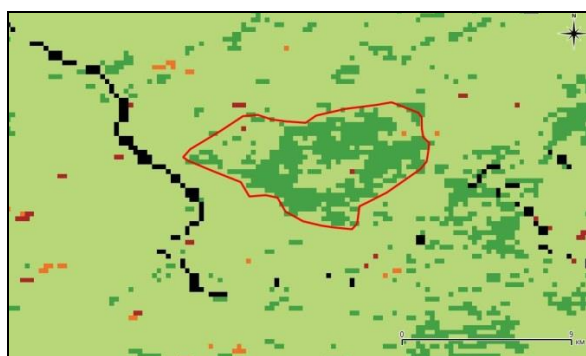


Рис. 8. Разнонаправленная динамика продуктивности эродированных земель (Волгоградская область). **Fig. 8.** Multidirectional productivity dynamic of erosive lands (Volgograd region).

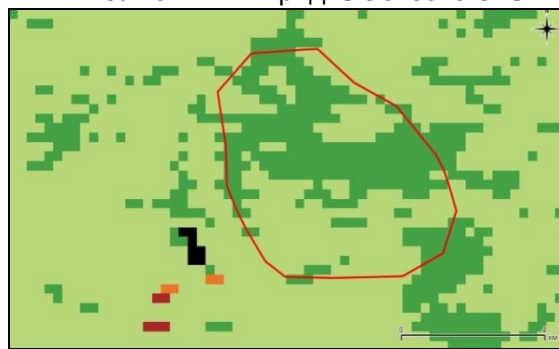


Улучшение продуктивности лесов (Воронежская область)

в №1 за 2021 г. в "Аридные экосистемы"



в №1 за 2021 г. в "Аридные экосистемы"



Пахотные угодья с улучшенной продуктивностью (Воронежская область)

Рис. 9. Примеры повышения продуктивности земель. **Fig. 9.** Examples of land productivity increase.

Как мы отмечали ранее (Kust et al., 2018), этот подход не правомерен для многих территорий Юга России, так как изменения содержания углерода в почвах часто происходят без изменения наземного покрова. Такая ситуация в наибольшей степени характерна именно для пахотных земель, в которых дегумификация происходит вследствие распашки территории и смыва верхнего плодородного слоя. Положительная динамика также возможна в составе одного и того же класса земель, например при рациональном землепользовании и внесении удобрений.

Для точной характеристики данного индикатора необходимо использование дополнительных национальных и региональных данных. Но в настоящее время официальные региональные данные за требуемый период в большинстве случаев отсутствуют. Поэтому в ближайшее время можно рекомендовать замену данного индикатора на более информативный аналог, к которому в разных случаях могут быть отнесены, например, степень развития эрозионных процессов, наличие доступной влаги в почвах в период вегетации, и др.

Доля деградированных земель от общей площади территории (показатель ЦУР ООН 15.3) и Индекс НБДЗ. Как отмечалось выше, доля деградированных земель от общей площади суши (показатель ЦУР ООН 15.3) представляет собой результат интегрального использования рассмотренных выше трех индикаторов НБДЗ. Продуктивность как наиболее динамичный показатель вносит наибольший вклад в значение показателя ЦУР ООН.

Расчет данного показателя за пятнадцатилетний период с 2001 по 2015 по исследуемым регионам приведен на рисунке 10. Как видно из рисунка 10, все сельскохозяйственные регионы отличаются высокой долей приращения деградированных земель за последние 15 лет, несмотря на проводимые почвозащитные и природоохранные мероприятия. По сравнению со среднероссийскими показателями (12.3%; Деградация земель ..., 2019) они оказываются превышены в большинстве регионов в 2.8 и более раз.

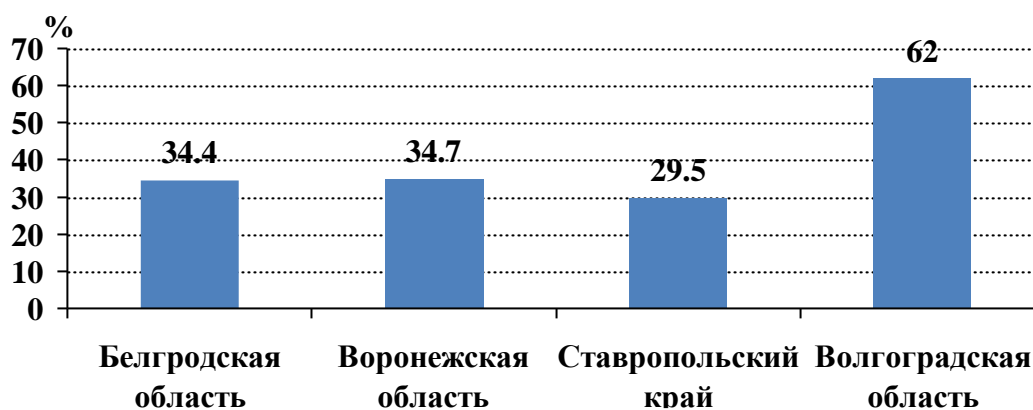


Рис. 10. Доля деградированных земель от общей площади исследуемых регионов (за период 2001-2015 гг.). **Fig. 10.** Share of degraded land from the total area of the studied regions (for 2001-2015).

При использовании данного показателя в планировании землепользования важно напомнить, что основной смысл концепции НБДЗ и ЦУР ООН 15.3 состоит в том, что в каждом конкретном месте земного шара надо стремиться к тому, чтобы не допускать ухудшения состояния земель (Orr et al., 2017). Таким образом, в контексте результатов нашего исследования, данный показатель настраивает на необходимость повсеместной постановки задач по достижению НБДЗ (в данном случае в каждом картографическом пикселе исследованных областей), однако не отражает динамики восстановительных

процессов – как природных, так и предпринимаемых с участием человека. Для отражения последнего нами был введен показатель, которому дали название «Индекс НБДЗ» (автор Г.С. Куст с соавторами; Национальный доклад, ... 2019), рассчитываемый как разница между долями улучшенных и ухудшенных территорий в пределах какого-либо отдельно взятого региона. Таким образом, Индекс НБДЗ дает представление о компенсации ухудшенных территорий улучшенными. Хотя это не абсолютно соответствует подходам «Рамочной методологии» (Ott et al., 2017), тем не менее, свидетельствует дополнительно о потенциале восстановления деградированных земель в пределах конкретных территорий. Так, из данных, представленных на рисунке 11 видно, что наибольший потенциал восстановления из исследованных территорий свойственен Белгородской и Воронежской областям, где Индекс НБДЗ имеет высокие положительные значения, и наименьший – для Волгоградской области, где доля деградированных земель существенно выше доли восстановленных за тот же период времени.

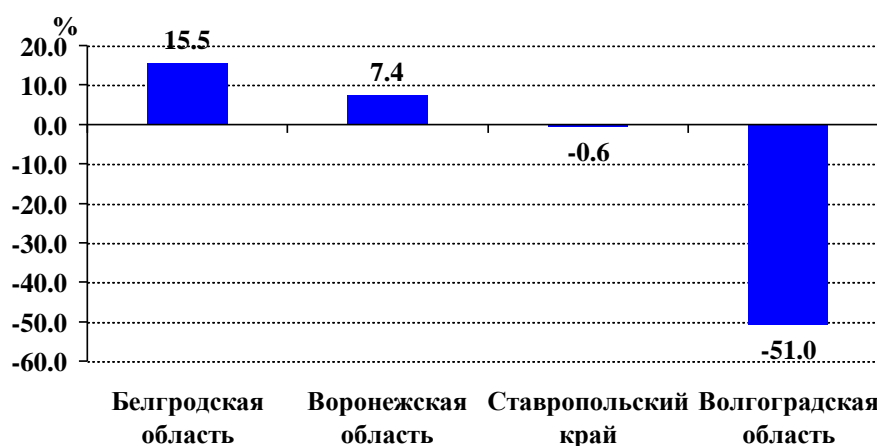


Рис. 11. Индекс НБДЗ. Fig. 11. LDN Index.

Таким образом, наше исследование, проведенное на примере нескольких регионов Юга Европейской территории России, показало, что расчетный модуль Trends.Earth, рекомендуемый КБО ООН (2016) для оценки нейтрального баланса деградации земель, предоставляет достаточно информативные пространственные и количественные данные о состоянии земель на региональном уровне. С его помощью была показана динамика основных глобальных индикаторов НБДЗ и рассчитаны значения показателя доли деградированных земель. Для более корректных расчетов на базе концепции НБДЗ требуется повышение точности данных о пространственном распределении и динамике запасов почвенного органического углерода, которые не получили пока отражения в результатах данного исследования.

Валидация полученных данных, проведенная с помощью космических снимков показала, что в целом для уровня отдельных областей динамика основных индикаторов НБДЗ отражает основные тенденции деградации земель, описанные в литературе и фондовых материалах: усиление процессов водной эрозии, деградации пастбищ, засоление, осолонцевание. Вместе с тем, для более детальных исследований в крупном масштабе, то есть на уровне отдельных хозяйств, требуется разработка более сложных алгоритмов с использованием космических снимков и данных более высокого разрешения.

Достоинством (хотя в определенной степени недооцененным) используемой методики является то, что она демонстрирует не столько актуальное состояние земель, сколько изменения, произошедшие за определенный период, причем достаточно короткий (10-15-20

лет). Поэтому если «улучшение» или «ухудшение» явно привлекают внимание ученых и землепользователей, то случаи отсутствия изменения в состоянии земель не должны вызывать успокоения. Такого рода «стабильность» может говорить о «стабильно плохом» состоянии и быть обусловлена деградационными процессами, имевшими место в прошлом, за пределами анализируемого временного интервала. Для выявления таких ситуаций необходимо использовать дополнительные источники информации.

Тренды, выявляемые с помощью метода Trend.Earth, следует рассматривать только в качестве дополнительного источника информации, а не использовать для характеристики актуальных процессов в качестве «абсолютных» данных. Улучшение состояния земель, особенно сельскохозяйственных, оцениваемое по индикатору продуктивности при стабильности других параметров, может быть связано не с улучшением почвенных свойств и борьбы с деградацией земель, а как раз наоборот – происходить за счет роста продуктивности в результате интенсификации земледелия и интенсивной эксплуатации почвенных свойств, что может быть незаметно при анализе NDVI за относительно короткий период изменений. Ряд очевидных процессов деградации земель некорректно отражаются через индикаторы НБДЗ: например, увеличение площади оврагов или забрасывание истощенных земель приводит к смене сельскохозяйственных культур на луговую и кустарниковую растительность, что приводит к повышению NDVI и формально может быть интерпретировано как положительный процесс, хотя в действительности замеченные тренды могут быть результатом негативных явлений.

Выводы

1. Методология нейтрального баланса деградации земель и созданный на ее основе расчетный модуль Trend.Earth может быть использована для оценки деградации земель для Юга европейской части России и аналогичных территорий. Он отражает основные направления динамики наземного покрова, продуктивности земель и позволяет рассчитывать показатель 15.3 ЦУР ООН (Повестка ..., 2015) – доли деградированных земель от общей площади территории.

2. Наиболее динамичным индикатором для исследованных регионов является продуктивность земель, индикатор динамики наземного покрова, как правило, не превышает 2% территории сельскохозяйственных регионов, хотя в некоторых случаях (Ставропольский край) может достигать 9% и более. Индикатор динамики запасов почвенного органического углерода требует регулярного обследования почв или замены на более информативный аналог.

3. Среди природных причин снижения продуктивности и динамики земель для всех исследуемых регионов является развитие эрозионных процессов. Основными причинами повышения продуктивности являются зарастание ранее заброшенных малопродуктивных залежных земель, оврагов и балок древесной и кустарниковой растительностью, повышение урожайности на пахотных угодьях за счет агротехнических мероприятий. Дифференцировать эти процессы без привлечения снимков высокого разрешения и дополнительных наземных данных не представляется возможным.

4. На основании рассчитанного показателя доли деградированных земель от общей площади территории, исследуемые регионы можно ранжировать в следующем порядке: Ставропольский край (29.5%), Белгородская область (34.4%), Воронежская область (34.7%), Волгоградская область (62.0%).

5. Анализ потенциала восстановления земель на основании введенного нами ранее Индекса НБДЗ (соотношение улучшенных и ухудшенных территорий) позволяет распределить исследованные регионы иным образом: от самого высокого регионального

потенциала – Белгородская область (15.5%), Воронежская область (7.4%), Ставропольский край (-0.6%), Волгоградская область (-51.0%) – до самого низкого регионального потенциала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Деградация земель и опустынивание в России: Новейшие подходы к анализу проблемы и поиску путей решения. 2019. Москва: Издательство Перо. 235. с.
- КБО ООН /Глобальный механизм. 2016. Достижение нейтрального баланса деградации земель на уровне страны, составные элементы при определении целей НДЗ. 28 с. [Электронный ресурс http://www2.unccd.int/sites/default/files/documents/18102016_LDN%20country%20level_ENG.pdf (дата обращения 01.10.2019)].
- Национальный доклад. 2019. Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство) /Ред. Р.С.-Х. Эдельгериев. 516 с.
- ЕМИСС государственная статистика. 2019. Площадь земельного фонда в границах территорий Российской Федерации. [Электронный ресурс <https://www.fedstat.ru/indicator/38150> (дата обращения 01.10.2019)].
- Повестка дня в области устойчивого развития до 2030 г. Генеральная Ассамблея ООН. A/RES/70/1. 21.10.2015. 44 с. [Электронный ресурс <https://undocs.org/ru/A/RES/70/1> (дата обращения 01.10.2019)].
- IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Geneva. 42 p. [Электронный ресурс https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_03_Ch3_Representation.pdf (дата обращения 01.10.2019)].
- Kust G., Andreeva O., Lobkovskiy V., Telnova N.* 2018. Uncertainties and policy challenges in Implementing Land Degradation Neutrality in Russia // *Environmental Science and Policy*. Vol. 89. P. 348-356.
- Hengl T., de Jesus J.M., Heuvelink G. B. M., Gonzalez M. R., Kilibarda M., Blagotić A., Shangguan W., Wright M. N., Xiaoyuan Geng, Bauer-Marschallinger B., Guevara M. A., Vargas R., MacMillan R. A., Batjes N. H., Leenaars J. G. B., Ribeiro E., Wheeler I., Mantel S., Kempen B.* 2017. SoilGrids 250 m: Global gridded soil information based on machine learning // *Plos one*. № 2 (12). February 16, 2017. [Электронный ресурс <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748> (дата обращения 21.02.2019)].
- Li W., MacBean N., Ciais P., Defourny P., Lamarche C., Bontemps S., Houghton R.A., Peng S.* 2017. Gross and net land cover changes based on plant functional types derived from the annual ESA CCI land cover maps // *Earth System Science Data Discussions*. P. 1-23.
- Orr B.J., Cowie A.L., Castillo S.V.M., Chasek P., Crossman N.D., Erlewein A., Louwagie G., Maron M., Metternicht G.I., Minelli S., Tengberg A.E., Walter S., Welton S.* 2017. Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Bonn, Germany. 129 p.
- Trends.Earth.* 2018. Conservation International. [Электронный ресурс <http://trends.earth/docs/en/> (дата обращения 21.02.2019)].
- UNCCD. 2015. Report of the Conference of the Parties on its twelfth session, held in Ankara from 12 to 23 October 2015. Part two: Actions taken by the Conference of the Parties at its twelfth session. ICCD/ COP(12)/20/Add. Bonn: United Nations Convention to Combat Desertification. [Электронный ресурс: <https://www.unccd.int/convention/conference-parties-cop/unccd->

cop12-ankara-turkey (дата обращения 20.11.2019)].

UNCCD. 2016a. Land degradation Neutrality: The Target Setting Programme. Brussels. UNCCD. 20 p.

UNCCD. 2016b. CRIC 15. ICCD/CRIC(15)/5/. Report on opportunities for increased financing for the implementation of the Convention and options to track finance in the context of future UNCCD reporting. 21 p. [Электронный ресурс: https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/ICCD_CRIC15_5/5eng.pdf(дата обращения 20.11.2019)].

**EXPERIENCE IN ASSESSMENT OF LAND DEGRADATION DYNAMICS
OF THE SOUTH OF EUROPEAN PART OF RUSSIA USING
THE METHODOLOGY OF LAND DEGRADATION NEUTRALITY**

© 2020. M.V. Belyaeva*, **, O.V. Andreeva*, **, G.S. Kust*, V.A. Lobkovskiy*

**Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences
Russia, 119017, Moscow, Staromonetnyi pereulok 29. E-mail: kust@igras.ru*

***M.V. Lomonosov Moscow State University
Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1. E-mail: andreevala@yandex.ru*

Received November 11, 2019. Revised December 24, 2019. Accepted August 01, 2020.

The purpose of the article is to consider the possibility of using the concept of Land Degradation Neutrality (LDN) and the calculating module Trends.Earth recommended by the UN Convention to Combat Desertification (UNCCD) to assess the short-term dynamics of land degradation in several regions of the South of the European part of Russia (Belgorod, Voronezh, Volgograd oblasts, Stavropol kray). To validate the obtained results the space imagery has been used. The LDN concept, widely developing during recent years by the UNCCD, is considered in world science and practice as a scientific and practical platform for the efficient use of land resources and rational nature management, and for the adoption of relevant political and economic decisions.

For the first time in Russia, the Trends.Earth based on the Q-GIS platform specially developed by the UNCCD to evaluate the LDN was used as a research method. With this method based on an analysis of three indicators: changes in land cover, changes in productivity, changes in soil organic carbon (SOC), an integral indicator of the proportion of land that is degraded over total land area of the studied regions for the period 2001-2015 is calculated. This indicator is officially approved by the UN to monitor progress towards achieving Sustainable Development Goals (SDG) target 15.3.

It has been proved that the Trends.Earth calculation module recommended by the UNCCD for the assessment of LDN provides fairly informative spatial and quantitative data on the state of land at the subregional level and can be used on preliminary basis to assess land degradation in the south of European Russia and similar territories. For more accurate calculations based on the LDN concept, it is necessary to increase the accuracy of data, in particular, on the spatial distribution and dynamics of soil organic carbon stocks.

The results described that the land cover is a relatively slightly changing indicator of land cover dynamics for developed agricultural regions; a more dynamic parameter is productivity change. Comparison of the studied regions in terms of land restoration potential based on the proposed LDN Index showed that Belgorod and Voronezh regions have the greatest potential, and the lowest potential is characteristic of Volgograd region where the proportion of degraded lands is significantly higher than those restored during the same period of time.

Based on the indicator of the proportion of degraded lands over the total area, the studied regions can be ranked in the following order: Stavropol Kray (29.5%), Belgorod Region (34.4%), Voronezh Region (34.7%), Volgograd Region (62.0%). Studied regions are characterized by a high proportion of growing of degraded lands area over the past 15 years, despite ongoing soil conservation and environmental protection measures.

Validation of the data obtained using satellite images showed that, in general, for the level of individual regions, the proposed tool reflects the main trends of land degradation, however, for more detailed studies on a large scale, the development of more complex algorithms using satellite images and higher resolution data are required.

Keywords: Land Degradation Neutrality, Russia, Land Degradation Neutrality Indicators, Trends.Earth.

DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10135