ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2020, том 84, № 5, с. 737–749

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 502.35;504.052

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬ В РОССИИ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА ИХ ДЕГРАДАЦИИ

© 2020 г. О. В. Андреева[a], Г. С. Куст[a, *]

[a] *Институт географии РАН, Москва, Россия*

**e-mail: kust@igras.ru*

Поступила в редакцию 20.07.2019 г.
После доработки 04.05.2020 г.
Принята к публикации 06.06.2020 г.

Концепция нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) является закономерным развитием глобального опыта по оценке деградации земель за последние 40 лет и разработана с целью гармонизации национальных методов мониторинга и оценки выполнения индикатора 15.3.1 Целей в области устойчивого развития на период до 2030 г. – "доля деградированных земель от общей площади земель". В статье рассмотрены результаты оценки состояния земель России с использованием концепции НБДЗ, впервые рассчитанные по субъектам Российской Федерации с использованием ГИС-модуля *Trends.Earth*, использующего глобальные базы данных для интерпретации трех основных индикаторов: динамика наземного покрова, динамика продуктивности земель, динамика запасов почвенного органического углерода. С использованием принципа "полного охвата" расчет для России в целом показывает долю деградированных земель 12.3%, что представляется сильно усредненным показателем для страны с высоким разнообразием социально-экономических и физико-географических условий. Варьирование доли деградированных земель, рассчитанной по данному методу, составляет от около 63–67% в Ростовской и Волгоградской областях до менее 1% в Амурской, Калужской и Ивановской областях. С учетом разнонаправленных трендов изменения качества земель в развитие концепции предложен показатель "индекс НБДЗ", означающий разницу между долей "улучшенных" и "ухудшенных" (трансформированных) земель в пределах определенной территории. Полученные результаты следует рассматривать как предварительные, конкретизация которых будет проводиться по мере развития и адаптации методики НБДЗ для территории России.

Ключевые слова: деградация земель, опустынивание, глобальная оценка, мониторинг, методы оценки деградации земель, нейтральный баланс деградации земель, индекс НБДЗ

DOI: 10.31857/S2587556620050052

ВВЕДЕНИЕ (ИСТОРИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ)

Нарастающая в глобальном масштабе проблема деградации земель – один из наиболее важных вызовов существованию современной цивилизации. Согласно Всемирному атласу опустынивания [11] 75% наземного покрова уже деградировало, а к 2050 г. эта цифра может вырасти до 90% и более.

Вместе с тем точное установление масштабов деградации до недавнего времени не представлялось возможным из-за отсутствия общепризнанной методики для ее оценки на глобальном уровне. Ранее созданные картографические модели и проведенные на их основе оценки, как правило, отражали особенности экспертного восприятия той или иной картографируемой территории, региона или отдельной крупной страны (нескольких стран) и далее распространялись на глобальный уровень [7, 8]. Такие оценки проводились на тематически различной исходной картографической основе почвенных, геоботанических и ландшафтных карт. Среди таких исследований, активно проводившихся в последние 30–40 лет, к наиболее интересным можно отнести проект Глобальной оценки деградации почв *GLASOD (GLobal Assessment of SOil Degradation)* [22]. Несмотря на то, что результаты этой оценки были неоднократно подвержены критике [24, 29], она стала важным вкладом в понимание распространения деградации земель и во многом является актуальной в настоящее время. На основе методологии *GLASOD* (М 1 : 10 млн) были подготовлены представляющие определенный интерес для России карты в масштабе 1 : 2.5 млн: для региона Южной и Юго-Восточной Азии [30] и Восточной и Центральной Европы [29]. Последняя была основана на Цифровой базе данных о почвах и рельефе *SOTER* [25] и содержала достаточно реалистичное отображение деградации земель в России, в частности эрозии почв и загрязнения.

Обзорные оценки деградационных процессов на территории России были представлены во втором издании Всемирного Атласа опустынивания [21], где рассмотрены процессы деградации и ведущие причины опустынивания, к которым от-

несены сведение лесов, перевыпас скота, пахотное земледелие. Глобальные обзорные данные были подтверждены и детализированы позже в работах российских ученых над Картой опустынивания Российской Федерации, подготовленной в масштабе 1 : 1.5 млн [1, 5].

В начале XXI в. с развитием систем спутникового наблюдения особое внимание стало уделяться разработке объективных, независимых от эксперта методов оценки деградации земель [7]. Спутниковые спектрозональные данные позволяют проводить ретроспективные оценки состояния земель, поскольку содержат данные о динамике продуктивности (с использованием NDVI – нормализованного дифференцированного вегетационного индекса) на всей территории планеты с 1982 г. до настоящего времени [19]. Поскольку продуктивность может быть как связанной, так и не связанной с деградацией почвы, то получаемые карты отражают деградацию не только почв, но и в целом земель, включая почвы, растительность, рельеф местности, особенности увлажнения, а также скорость процесса деградации. При всех недостатках метода (подробно проблемы оценки деградации земель рассмотрены в [18], он оказался весьма перспективным, поскольку позволяет сравнивать различные регионы на единой методологической основе.

Следующим шагом стала разработка Глобальной информационной системы по деградации земель (*GLADIS*) [21]. Состояние "здоровья" почвы оценивалось в основном по тенденциям изменения содержания органического углерода в почвах с указанием других свойств, таких как наличие питательных веществ, засоленность, степень хозяйственного освоения и т.д. На некоторых картографических слоях представлено состояние деградации почв на основе Гармонизированной почвенной базы данных (*HWSD*) [14], другие отражают оценку риска на основе других источников: например, риск засоления почвы оценивался с использованием данных по орошаемым площадям в засушливых районах и засоленности ирригационных вод. Затем карты объединялись, чтобы дать общую характеристику состояния почв и его динамики. По данным *HWSD* большая часть территории России подвержена "слегка негативным" процессам деградации почвы, как и большая часть мира. "Очень негативные процессы" были диагностированы только на Полярном Урале и в горах Восточной Сибири и Дальнего Востока; результаты оказались несколько неожиданными и сомнительными, поскольку эти районы считаются наименее затронутыми деятельностью человека в мире.

Серия недавних глобальных оценок проведена под эгидой Европейской комиссии (Joint Research Centre, European Soil Data Centre (ESDAC)) в соответствии с Тематической стратегией Европейского Союза по защите почв: составлена Карта почвенной эрозии [9]; опубликована глобальная карта почвенного органического углерода [13]. Ряд материалов глобального значения в последние годы подготовлены для лесных территорий, таких как: глобальная оценка лесных ресурсов ФАО, структурированная в соответствии с семью тематическими элементами устойчивого лесопользования, глобальная лесная база данных Института системного анализа (GFD IIASA), онлайн-платформа "Глобальная лесная вахта" (Global Forest Watch), которая предоставляет данные и инструменты для мониторинга лесов на основе космических снимков.

Таким образом, в последнее время активно развиваются методы оценки деградации земель с использованием глобальных баз данных, собираемых преимущественно с помощью спутниковой информации, и Россия не может изолироваться от этих трендов, несмотря на то, что в стране существует национальная система государственного мониторинга земель. Требуется обозначить основные направления действий в данном направлении, оценивая возможности использовать материалы глобальных баз данных для оценки и мониторинга деградации земель в нашей стране.

ЦЕЛИ И МЕТОДЫ. ГЛОБАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ (НБДЗ)

Наиболее современной и динамично развивающейся глобальной платформой для оценки деградации земель на глобальном и национальном уровнях с использованием единых подходов является концепция НБДЗ [2, 3, 23]. Концепция НБДЗ раскрывает содержание Цели Устойчивого Развития 15.3[1] [6] и лежит в основе новейших подходов к составлению международных баз данных и создаваемых на их основе картографических материалов по деградации земель. Нейтральный баланс деградации земель – "это такое состояние, при котором объем и количество земельных ресурсов, необходимых для поддержания экосистемных функций и услуг, и усиления продовольственной безопасности, остаются стабильными или же увеличиваются в конкретно определенных временны́х и пространственных масштабах и экосистемах" (определение принято на 12 Конференции сторон Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН) в сентябре 2015 г. [28]).

КБО ООН как уполномоченная ООН по оценке и мониторингу индикатора ЦУР 15.3 рекомендует использовать в качестве основного показателя НБДЗ долю деградированных земель в стране

[1] "К 2030 г. бороться с опустыниванием, восстанавливать деградированные земли и почвы, в том числе земли, затронутые опустыниванием, засухой и наводнениями, и стремиться к достижению нейтрального баланса деградации земель".

или регионе, а также три вспомогательных субиндикатора НБДЗ: динамику наземного покрова; динамику продуктивности земель; динамику запасов органического углерода почв. На национальном уровне рекомендуется применять указанные четыре индикатора или устанавливать их аналоги, а также дополнять их индикаторами третьего уровня, исходя из региональных особенностей. Для выбранных индикаторов устанавливается базовая линия для последующего мониторинга путем усреднения данных, полученных за определенное количество прошлых лет. Тем самым достигается снижение влияния флуктуаций параметров в пределах фиксируемых трендов.

Для сравнимости результатов на глобальном уровне по инициативе КБО ООН был разработан специальный расчетный модуль *Trends.Earth* [27], использующий материалы глобальных баз данных, включая данные мониторинга Земли из космоса. Принцип работы системы *Trends.Earth* заключается в анализе множества глобальных наборов спутниковых данных, которые представляются в удобном для пользователя ГИС-интерфейсе.

Оценка динамики наземного покрова проводится по данным Инициативы Европейского Космического Агентства по изменению климата с пространственным разрешением 300 м [12], которые охватывают несколько временных периодов, начиная с 2000 г., и используют иерархическую классификацию, специально созданную в целях оценки НБДЗ и определения базового уровня состояния наземного покрова на глобальном уровне. Классификация из 6 категорий земель согласована с рекомендациями МГЭИК для оценки общего уровня запасов органического углерода [17]: 1) сельскохозяйственные земли; 2) леса; 3) земли под травянистой растительностью, кустарниками, мохово-лишайниковой растительностью, разреженной растительностью разных типов; 4) болота; 5) земли под застройкой; 6) лишенные растительного покрова и прочие земли.

Для динамики продуктивности земель используются данные Единого европейского исследовательского центра [10, 15], полученные из многолетних рядов наблюдений индекса *NDVI*, составленных в 10-дневные интервалы для пространственного разрешения 1 км. Выделяется 5 трендов динамики продуктивности земель: Снижение продуктивности (*Declining*); Умеренное снижение продуктивности (*Moderate decline*); Стабильное состояние, подверженное риску (*Stressed*); Стабильное состояние, не подверженное риску (*Stable*); Повышение продуктивности (*Increasing*).

Глобальные данные по динамике запасов почвенного органического углерода (ПОУ) в расчете на 30 см слой агрегированы на базе исходных сведений, содержащихся в базе данных *SoilGrids* Международного информационного центра по почвам *ISRIC*, собранных для слоя 0–30 см по 6 обобщенным классам наземного покрова [16], с разрешением 250 м. Запасы ПОУ рассчитаны с использованием стандартной методологии [14].

Несмотря на определенную критику этих данных со стороны научного сообщества [2], совместное использование трех показателей, представленных в международных базах данных, и современные возможности их ГИС-анализа, как указывается в Рамочных научных подходах к нейтральному балансу деградации земель [23], позволяет дать актуальную оценку состояния наземных экосистем и экосистемных услуг. Показатели динамики наземного покрова указывают в первую очередь на изменение растительного покрова, структуры землепользования. Показатели продуктивности земель дают представление о функционировании экосистем и возможность оценить динамические изменения в различных природных зонах. Показатель динамики запасов органического углерода является более инертным по сравнению с предыдущими индикаторами, тем не менее он также дает возможность оценить и прогнозировать тенденции изменения почвенного покрова.

Система *Trends.Earth* характеризует изменения укрупненными качественными категориями: “ухудшение состояния”, “стабильное состояние”, “улучшение состояния”. Интеграция трех субиндикаторов выполняется по принципу “полного охвата”, т.е. если какая-либо территория идентифицируется как “ухудшенная” по любому из трех показателей, то она считается деградированной (табл. 1).

Напомним, что общая оценка состояния земель России по показателям НБДЗ рассмотрена нами в [2, 4]. В настоящей работе цель состояла в проведении углубленного анализа, сравнительной оценке и ранжировании субъектов Российской Федерации по отдельным параметрам НБДЗ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ[2] ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ НБДЗ

Сравнение трендов динамики наземного покрова

Для общей оценки изменений наземного покрова (период 2001–2015 (2017) гг.) применяются два показателя – доля улучшенных и доля ухудшенных земель в стране (рис. 1). Ухудшение и улучшение земель диагностируют при этом по переходам одних типов земель в другие. Например, переход пашни в заброшенные земли расценивается как деградация, а зарастание заброшенных

[2] Кроме Республики Саха (Якутия) и Красноярского края, из-за временных технических проблем в функционировании расчетного модуля *Trends.Earth*.

Таблица 1. Принципы интеграции субиндикаторов ЦУР 15.3 [27]

Продуктивность земель	Наземный покров	Почвенный органический углерод		Индикатор ЦУР 15.3 “Доля деградированных земель”
Улучшение	Улучшение	Улучшение		Улучшение
		Стабильность		
		Деградация		Деградация
	Стабильность	Улучшение		Улучшение
		Стабильность		
		Деградация		Деградация
	Деградация	Улучшение		
		Стабильность		
		Деградация		
Стабильность	Улучшение	Улучшение		Улучшение
		Стабильность		
		Деградация		Деградация
	Стабильность	Улучшение		Улучшение
		Стабильность		Стабильность
		Деградация		
	Деградация	Улучшение		
		Стабильность		
		Деградация		
Деградация	Улучшение	Улучшение		Деградация
		Стабильность		
		Деградация		
	Стабильность	Улучшение		
		Стабильность		
		Деградация		
	Деградация	Улучшение		
		Стабильность		
		Деградация		

земель лесами – как положительное изменение. Система *Trends.Earth* позволяет экспертным путем подбирать наиболее корректную характеристику переходов между типами земель, но в нашем случае для предварительной общей оценки использован подход “по умолчанию”. Как видно на рис. 1, для России нехарактерны существенные значения переходов одних земель в другие, при этом “улучшение” земель (в системе принятых характеристик изменений) преобладает над “ухудшением”. Так, доля переходов земель в категории “улучшенные” в России колеблется в пределах от 0 до 9% и достигает максимальных значений в Ставропольском крае (9.02%) Ивановской (7.08%), Калужской (5.49%) областях и Чеченской Республике (4.06%). Наиболее высокие значения доли переходов земель в категории “ухудшенные” отмечаются в Ханты-Мансийском АО (3.81%), Мурманской и Магаданской областях (3.81 и 3.75% соответственно), хотя в целом доля “ухудшенных” земель на территории РФ невелика и колеблется в пределах 1–2%. Высокие доли “ухудшенных” земель характерны для крупных мегаполисов: 6.77% в Санкт-Петербурге и 2.95% в Москве. Наименьшие показатели доли таких земель характерны для Республики Калмыкия, Алтайского края, Орловской области

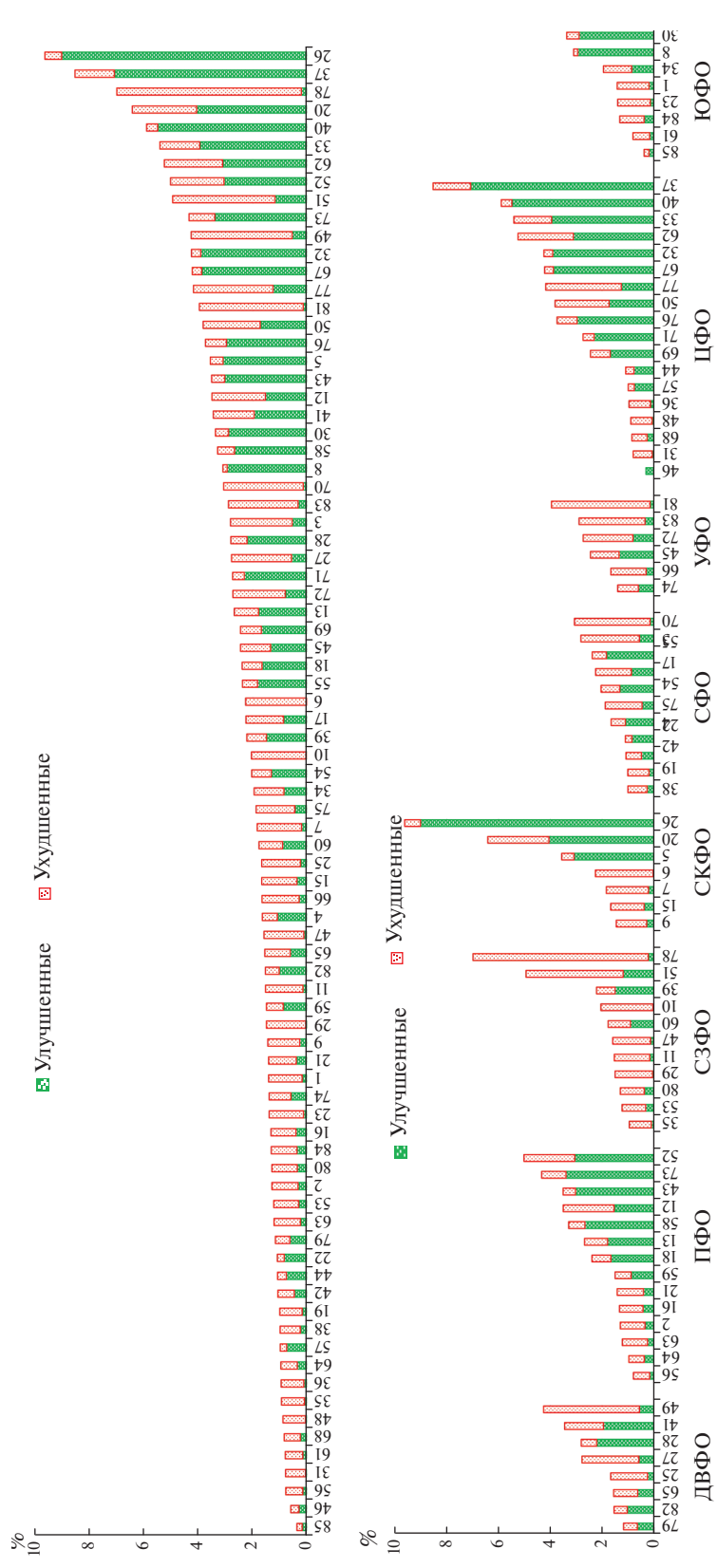

Рис. 1. Ранжирование субъектов РФ в пределах России и и федеральных округов по категории “Изменения наземного покрова” (суммарная площадь улучшенных и ухудшенных земель), доля в площади региона, %. Здесь и на рис. 2–4 индексы субъектов РФ согласно приведенному перечню; по техническим причинам анализ проведен без учета Красноярского края (24) и Республики Саха (Якутия) (14).
Перечень субъектов РФ: 1 – Республика Адыгея, 2 – Республика Башкортостан, 3 – Республика Бурятия, 4 – Республика Алтай, 5 – Республика Дагестан, 6 – Республика Ингушетия, 7 – Кабардино-Балкарская Республика, 8 – Республика Калмыкия, 9 – Карачаево-Черкесская Республика, 10 – Республика Карелия, 11 – Республика Коми, 12 – Республика Марий Эл, 13 – Республика Мордовия, 14 – Республика Саха (Якутия), 15 – Республика Северная Осетия – Алания, 16 – Республика Татарстан, 17 – Республика Тыва, 18 – Удмуртская Республика, 19 – Республика Хакасия, 20 – Чеченская Республика, 21 – Чувашская Республика – Чувашия, 22 – Алтайский край, 23 – Краснодарский край, 24 – Красноярский край, 25 – Приморский край, 26 – Ставропольский край, 27 – Хабаровский край, 28 – Амурская область, 29 – Архангельская область, 30 – Астраханская область, 31 – Белгородская область, 32 – Брянская область, 33 – Владимирская область, 34 – Волгоградская область, 35 – Вологодская область, 36 – Воронежская область, 37 – Ивановская область, 38 – Иркутская область, 39 – Калининградская область, 40 – Калужская область, 41 – Камчатский край, 42 – Кемеровская область, 43 – Кировская область, 44 – Костромская область, 45 – Курганская область, 46 – Курская область, 47 – Ленинградская область, 48 – Липецкая область, 49 – Магаданская область, 50 – Московская область, 51 – Мурманская область, 52 – Нижегородская область, 53 – Новгородская область, 54 – Новосибирская область, 55 – Омская область, 56 – Оренбургская область, 57 – Орловская область, 58 – Пензенская область, 59 – Пермский край, 60 – Псковская область, 61 – Ростовская область, 62 – Рязанская область, 63 – Самарская область, 64 – Саратовская область, 65 – Сахалинская область, 66 – Свердловская область, 67 – Смоленская область, 68 – Тамбовская область, 69 – Тверская область, 70 – Томская область, 71 – Тульская область, 72 – Тюменская область, 73 – Ульяновская область, 74 – Челябинская область, 75 –Забайкальский край, 76 – Ярославская область, 77 – Москва, 78 – Санкт-Петербург, 79 – Еврейская автономная область, 80 – Ненецкий автономный округ, 81 – Ханты-Мансийский Автономный округ – Югра, 82 – Чукотский автономный округ, 83 – Ямало-Ненецкий автономный округ, 84 – Республика Крым, 85 – Севастополь.

и города Севастополя и составляют менее четверти процента.

Сравнение федеральных округов (ФО) по данному показателю не показывает существенных различий, связанных с их географическим положением. Во всех округах отмечаются как территории с относительно значительными, так и с незначительными изменениями как в положительную, так и отрицательную сторону. Можно отметить только, что на общем фоне несколько выделяются субъекты, расположенные в Приволжском и Центральном округах, где относительно велика доля улучшенных земель.

Вместе с тем полученные оценки нельзя воспринимать однозначно. Если для целей долговременного мониторинга и оценки трендов общий анализ оказывается достаточным, то в механизмах происходящих изменений отмечаются существенные различия. Так, если "улучшение" земель в Ставрополье в основном связано с возвращением залежных и заброшенных земель в пашню, то в бореальных регионах средней полосы России главной причиной "улучшения" являются обратные процессы – увеличение лесопокрытой площади в результате зарастания залежей. Таким образом, для адекватного применения используемой методики в каждом конкретном регионе и их корректного сравнения требуется разработка индивидуальных способов распознавания "положительных" и "отрицательных" тенденций.

Очевидно также, что тренды, выраженные в процентах от площади административного образования, не в полной мере отражают истинные масштабы происходящих изменений. Если, например, для Тамбовской области 0.26% улучшенных земель означают 89 км^2, то та же доля для Иркутской области соответствует площади 1953 км^2. С учетом этого обстоятельства максимальные размеры улучшенных земель отмечаются в Камчатском крае (8906 км^2), Амурской области (7883 км^2), Чукотском АО (7208 км^2), Ставропольском (5957 км^2) и Хабаровском (4504 км^2) краях. Максимальные площади ухудшенных земель характерны для Ханты-Мансийского АО (19085 км^2), Хабаровского края (17086 км^2), Магаданской области (17043 км^2), Ямало-Ненецкого АО (16067 км^2) и Томской области (9057 км^2).

Сравнение трендов динамики продуктивности земель

Согласно анализу на основе модуля *Trends.Earth* в целом для России характерно стабильное состояние показателя продуктивности земель. Поддержание высокого потенциала биомассы, отражаемого через показатель *NDVI*, складывается в первую очередь за счет регионов с преобладанием лесных массивов. Это такие субъекты РФ, как Тверская, Смоленская, Костромская, Новгородская и Ярославская области с суммарной долей улучшенных и стабильных земель соответственно 99.0, 98.9, 98.5, 96.9 и 96.6%. Отрицательная динамика продуктивности земель характерна для южных регионов, где антилидерами являются Ростовская и Волгоградская области, Краснодарский край с суммарной долей угнетенных, умеренно ухудшенных и ухудшенных земель соответственно 66.9, 62.4 и 50.3% (рис. 2а).

Сравнение динамики продуктивности земель по федеральным округам показало, что категории, характеризующие негативную динамику продуктивности (ухудшенные, умеренно ухудшенные, угнетенные), более характерны для Южного федерального округа (ЮФО) и занимают от 67% территории в Ростовской области до 20% в Республике Калмыкия (рис. 2б). В черноземных (южных) областях Центрального ФО (ЦФО) такие земли также распространены: Курская область – 39.9%, Липецкая – 35.2, Воронежская – 34.4, Белгородская – 33.8, Орловская – 27.7, Тамбовская – 24.1%. В Нечерноземной зоне доля таких земель тоже снижается с юга (Рязанская 20.1, Тульская 9.0%) на север (Ярославская 0.2, Тверская 0.3%).

В Приволжском (ПФО), Сибирском (СФО), Северокавказском (СКФО) и Уральском (УФО) федеральных округах доля земель с отрицательной динамикой по показателю продуктивности в целом также ниже, чем в ЮФО, и аналогично ЦФО последовательно уменьшается от южных областей к северным. Самыми стабильными округами по показателю продуктивности земель являются Северо-Западный и Дальневосточный, где доля земель в стабильном и улучшенном состоянии составляет более 90%.

Как и в случае с показателем изменения наземного покрова, для адекватного отражения трендов продуктивности требуется установление более точных алгоритмов распознавания изменений *NDVI,* особенно для сельскохозяйственных земель. Наши наблюдения, проведенные на тестовых участках в разных областях России, показали, что зачастую распространение сорной растительности и закустаривание/зарастание заброшенной пашни сопровождается ростом *NDVI*, что не позволяет корректно характеризовать "положительные" и "отрицательные" изменения продуктивности пашни. Высокая степень флуктуаций среднегодовых *NDVI* наблюдается также при смене основных культур, имеющих разный вегетационный период, например, при замене зерновых культур на сахарную свеклу или сою. Для лесопокрытых, пастбищных и селитебных земель использование NDVI для оценки динамики продуктивности более корректно.

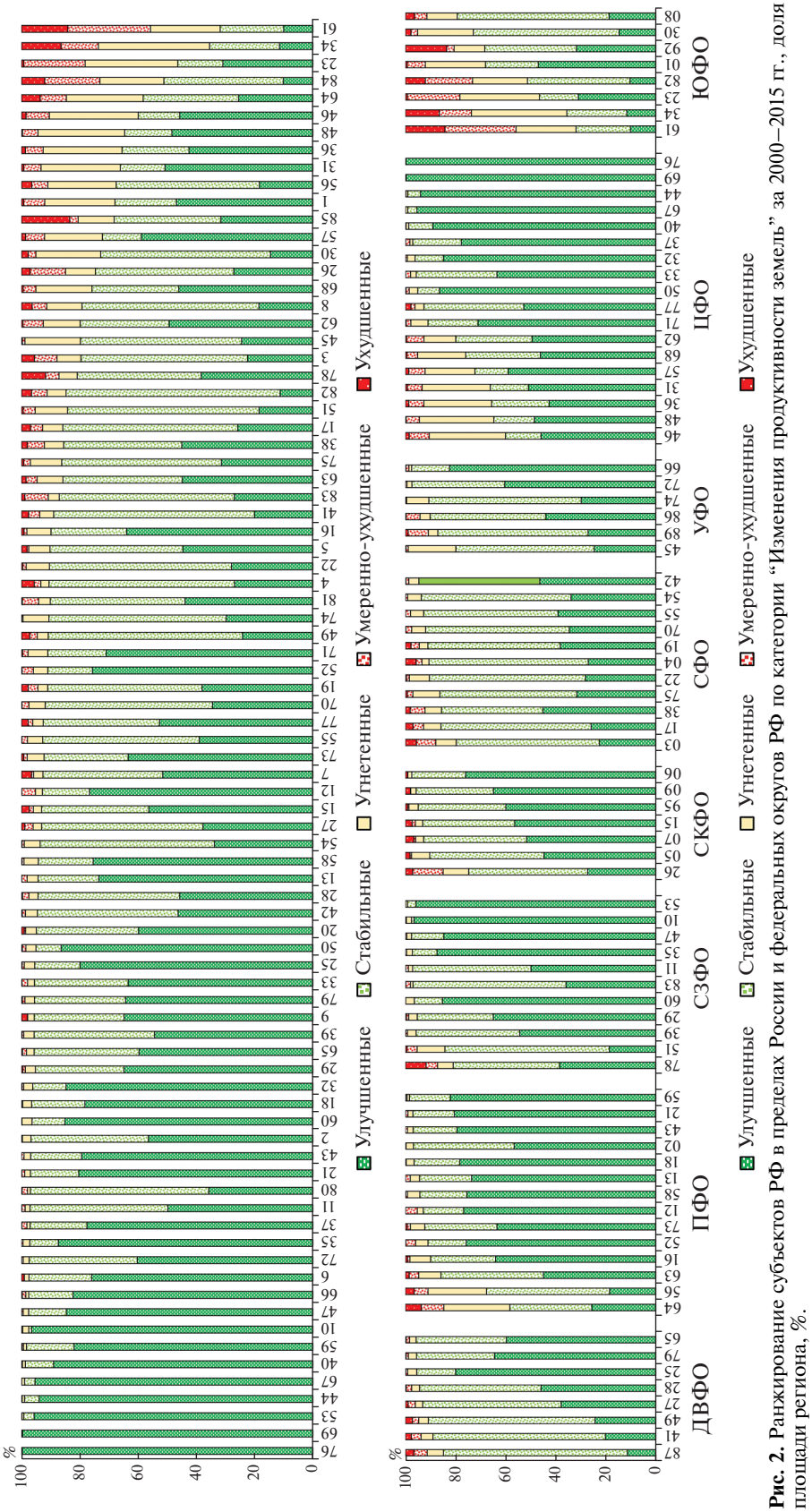

Рис. 2. Ранжирование субъектов РФ в пределах России и федеральных округов РФ по категории “Изменения продуктивности земель” за 2000–2015 гг., доля в площади региона, %.

Динамика запасов почвенного органического углерода (ПОУ) по субъектам РФ

Ранее мы указывали [2], что данные глобальных баз данных по запасам ПОУ, используемые *Trends.Earth*, не соответствуют данным национального мониторинга по абсолютным значениям, однако пространственное распределение по отдельным регионам России оказывается в целом похожим. Это обстоятельство позволяет в общем виде проследить тренды изменений запасов ПОУ, не анализируя конкретные количественные значения. Анализ динамики запасов ПОУ почв по регионам с помощью *Trends.Earth* показал, что в целом по стране запасы ПОУ остаются стабильными (рис. 3), с некоторой тенденцией к снижению. С учетом слабой достоверности метода, можно считать, что распределение субъектов РФ по отрицательному и положительному балансу запасов ПОУ примерно равное. Только у трети субъектов РФ наблюдаются более-менее значимые изменения этого показателя, у остальных происходящие изменения можно считать в целом сбалансированными (см. рис. 3а).

Максимальные абсолютные отрицательные значения баланса ПОУ характерны для Магаданской и Томской области, Ханты-Мансийского автономного округа (см. рис. 3а), однако удельные значения потерь ПОУ остаются сравнительно небольшими с учетом площадей этих регионов (см. рис. 3б). Максимальный положительный баланс в абсолютном исчислении характерен для Хабаровского края и Чукотского АО, а максимальные удельные значения накопления ПОУ свойственны Калужской, Ивановской и Смоленской областям. Для более точных оценок в дальнейшем необходимо корректировать глобальные данные с учетом информации, накопленной на национальном уровне.

Сравнение интегрального показателя доли деградированных земель по субъектам РФ. Индекс НБДЗ

Согласно подходам КБО ООН страны устанавливают добровольные обязательства и цели достижения НБДЗ, отталкиваясь от базовой линии по основному индикатору – доля деградированных земель. Этот индикатор рассчитан с помощью *Trends.Earth* по рассмотренным выше трем показателям по принципу “полного охвата” и для России составляет 12.3% (при использовании стандартных алгоритмов). Не вдаваясь в подробности анализа достоверности полученного результата и сравнения его с результатами, получаемыми с помощью других методов (это является темой отдельной работы), отметим, что для территории России с ее разнообразными социально-экономическими и физико-географическими условиями он представляется в значительной степени усредненным. Это хорошо видно из данных на рис. 4а, где субъекты расположены по возрастанию доли деградированных земель. Максимальная доля отмечается в Ростовской (66.9%), Волгоградской (62.5%) областях и в Краснодарском крае (50.9%). Менее 1% деградированные земли занимают в Амурской, Калужской и Ивановской областях. Обращает на себя внимание, что в этих же областях максимальная доля (более 97%) стабильных земель, что позволяет предполагать достаточно устойчивую экологическую ситуацию. От 1 до 2% занимают деградированные земли в Ярославской, Тверской, Костромской, Смоленской и Новгородской областях. С определенной долей допущения можно полагать, что и в этих регионах практически достигнуто состояние НБДЗ, поскольку индикатор доли деградированных земель близок к нулю, а доля улучшенных земель весьма высока (более 90%). Для остальных регионов можно считать, что состояние НБДЗ пока не достигнуто.

Несмотря на то, что по формальным признакам НБДЗ нельзя считать достигнутым для большинства регионов России, нам представляется целесообразным в качестве промежуточного этапа достижения НБДЗ и для оценки эффективности земельной политики и практики в пределах определенной территориальной единицы оценивать разницу между улучшенными и ухудшенными землями в заданный период исследования. Этот показатель был назван нами “Индексом НБДЗ” [2, 4], на основании которого удобно проводить сравнение и ранжирование отдельных территорий. При обработке результатов подсчета трех основных показателей НБДЗ в рамках данной работы впервые были получена оценка Индекса НБДЗ по всем субъектам РФ (рис. 4б, 4в). Если для РФ в целом Индекс НБДЗ составляет в среднем 25.7%, то для отдельных регионов он колеблется в широком диапазоне отрицательных и положительных значений: от –57 до 96%. Как можно заметить на рис. 4б, 4в, для подавляющего большинства регионов России характерны положительные значения Индекса НБДЗ, что говорит об эффективной динамике улучшения земель по всей стране, за исключением некоторых регионов. К последним, имеющим отрицательные значения Индекса НБДЗ, в основном относятся субъекты, расположенные в Южном ФО и южной части Приволжского ФО: Ростовская область (индекс НБДЗ – 57.3%), Волгоградская область (–51.5%), Республика Крым (–34.9%), Краснодарский край (–22.9%), Саратовская (–16.7%), Оренбургская (–14.2%), Астраханская (–10.3) области. “Наилучший” баланс (индекс НБДЗ от 80% и выше) характерен для регионов, расположенных в бореальном поясе, и обусловлен в основном ростом территорий, покрытых лесом и кустарником, как правило, по зарастающим залежам. Среди этих субъектов РФ, однако, выделяются увеличением количества “деградированных” земель более урбанизированные, что связано в основном с ростом площади застройки.

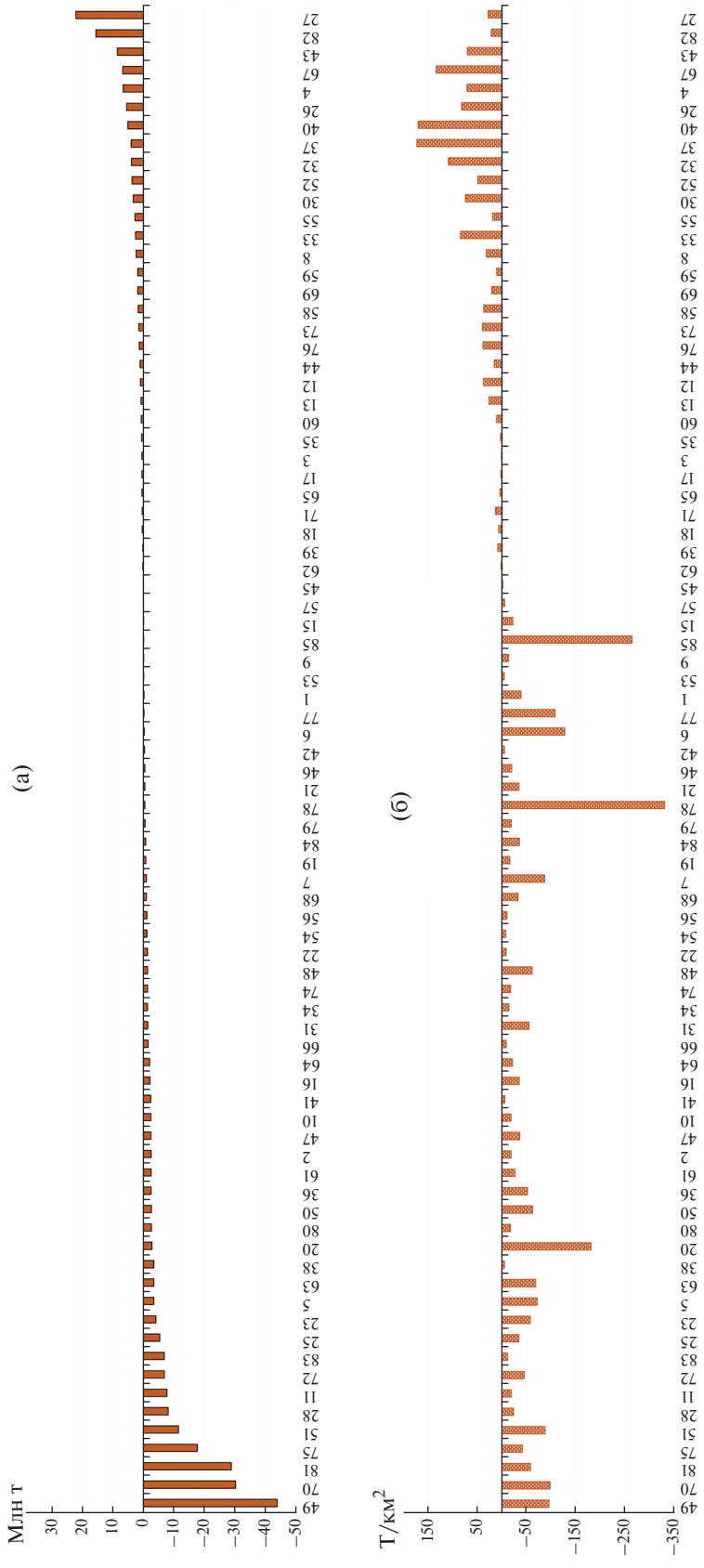

Рис. 3. Ранжирование субъектов РФ по категории “Изменения запасов органического углерода почв” за 2000–2015 гг.: (а) общий (млн т) и (б) удельный (т/км^2) баланс.

Рис. 4. Интегральная оценка доли деградированных земель в субъектах РФ, % (а) и ранжирование регионов в пределах России (б) и федеральных округов (в) по “Индексу НБДЗ”, %.

ВЫВОДЫ

Впервые для субъектов Российской Федерации опробован метод оценки деградации земель, основанный на применении концепции нейтрального баланса деградации земель и расчетного модуля *Trends.Earth*, активно внедряемых международными организациями с целью гармонизации национальных и глобальных методов мониторинга и оценки индикатора ЦУР 15.3 – "доля деградированных земель от общей площади страны". Показано, что этот метод может служить полезным инструментом для сравнения состояния земель в разных регионах, однако он требует совершенствования и адаптации с учетом конкретных природных и социально-экономических условий.

По всем трем основным индикаторам, рекомендуемым КБО ООН для вычисления доли деградированных земель (динамика наземного покрова, динамика продуктивности земель и динамика запасов почвенного органического углерода) федеральные округа и отдельные субъекты Федерации сильно различаются. Если для России в целом расчет по *Trends.Earth* показывает 12.3% деградированных земель в качестве базовой линии для дальнейших расчетов, усредненной за период 2001–2015 гг., то диапазон варьирования по субъектам составляет от 67 до менее 1%. Восемь субъектов РФ с долей земель, ухудшенных за период 2001–2015 гг., менее 2% и высокой долей стабильных и улучшенных земель могут считаться достигшими состояния НБДЗ. Для других регионов постановка целей НБДЗ – актуальная задача.

В качестве промежуточного этапа достижения НБДЗ и для оценки эффективности земельной политики и практики в пределах определенной территориальной единицы предложено использовать показатель "Индекс НБДЗ", представляющий разницу между улучшенными и ухудшенными землями в заданный период исследования. Расчет индекса проведен для всех субъектов РФ и федеральных округов. Показано, что для России в целом "Индекс НБДЗ" составляет в среднем 25.7%, а для отдельных регионов он колеблется в широком диапазоне от –57 до 96%. К наиболее "горячим" точкам в России по данному индексу относятся территории Южного и южной части Приволжского ФО.

Полученные результаты следует рассматривать в качестве предварительных, они будут конкретизироваться и улучшаться по мере развития и адаптации методики НБДЗ для территории России.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена по материалам исследований по гранту РНФ 18-17-00178 "Развитие фундаментальной концепции нейтрального баланса деградации земель для оценки эффективности мероприятий по устойчивому землепользованию и адаптации к изменениям климата".

FUNDING

This article was prepared with the financial support of the Russian Science Foundation, project no. 18-17-00178 ("The Development of the Novel Concept of Land Degradation Neutrality to Assess the Effectiveness of the Approaches for Sustainable Land Use and Climate Change Adaptation").

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреева О.В., Куст Г.С.* Картографическая оценка опустынивания/деградации почвенного покрова России // Опустынивание и деградация почв: Материалы Междунар. конф. (Москва, ноябрь 1999) / Ред. Г.С. Куст. М., 1999. С. 364–376.
2. Деградация земель и опустынивание в России: Новейшие подходы к анализу проблемы и поиску путей решения. М.: Перо, 2019. 235 с.
3. *Куст Г.С., Андреева О.В., Лобковский В.А.* Нейтральный баланс деградации земель – новейший подход для принятия решений в области землепользования и земельной политики // Проблемы постсоветского пространства. 2018. № 5 (4). С. 369–389.
4. *Куст Г.С., Андреева О.В., Лобковский В.А.* Нейтральный баланс деградации земель – новая глобальная концепция и методология исследования засушливых регионов на национальном уровне // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (83). С. 3–9.
5. *Куст Г.С., Глазовский Н.Ф., Андреева О.В., Шевченко Б.П., Добрынин Д.В.* Основные результаты по оценке и картографированию опустынивания в Российской Федерации // Аридные экосистемы. 2002. № 16. С. 7–27.
6. Повестка дня 2030. Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Резолюция A/RES/70/1, принятая Генеральной Ассамблеей ООН 25 сентября 2015 г. https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf
7. *Bai Z., Dent D., Olsson L., Schaepman M.* Proxy global assessment of land degradation // Soil Use Manage. 2008. V. 24. № 3. P. 223–234.
8. *Bai Z.G., Dent D.L., Olsson L., Schaepman M.E.* Global Assessment of Land Degradation and Improvement. 1. Identification by Remote Sensing. Report 2008/01. Wageningen: ISRIC – World Soil Information, 2008. https://www.isric.org/sites/default/files/isric_report_2008_01.pdf (accessed 05.07.2020).
9. *Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., et al.* An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion // Nature Communications. 2017. V. 8. № 1. P. 1–13.
10. *Cherlet M., Ivits-Wasser E., Sommer S., et al.* Land-Productivity Dynamics in Europe – Towards Valuation of Land Degradation in the EU. Rome, 2018. 162 p. https://doi.org/10.2788/70673
11. *Cherlet M., Hutchinson C., Reynolds J., et al.* World Atlas of Desertification. Luxembourg: Publication Office of the European Union, 2018.
12. ESA. Land Cover CCI Product User Guide Ver. 2. Tech. Rep. maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2 PUGv2_2.0.pdf. 2017
13. *FAO and ITPS.* Global Soil Organic Carbon Map (GSOCmap) Tech. Rep. Rome, 2018. 162 p.
14. *FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC.* Harmonized World Soil Database. FAO, Rome – IIASA. Laxenburg, 2008. 247 p.

15. Gio Global Land Component. Lot I "Operation of the Global Land Component" Framework Service Contract № 388533 (JRC). Product user manual. Leaf Area Index. Ver. 1. Is. I2.20. 2015. http://icdc.cen.unihamburgde/ fileadmin/user_upload/icdc_Dokumente/COPERNICUS_LAND/GIO GL1_PUM_LAIV1_I2.20.pdf
16. International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts / Society for Ecological Restoration (SER) in collaboration with SER Australasia. 2016. 48 p. https://c.ymcdn.com/sites/www.ser.org/resource/ resmgr/ docs/SER_International_Standards.pdf (accessed 30.05.2018).
17. IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. V. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use / Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (Eds). Japan: IGES, 2006.
18. *Krasilnikov P., Makarov O., Alyabina I., Nachtergaele F.* Assessing soil degradation in northern Eurasia // Geoderma Reg. 2016. № 7 (1). P. 1–10.
19. *Le Q.B., Nkonya E., Mirzabaev A.* Biomass productivity-based mapping of global land degradation hotspots // ZEF – Discussion Papers on Development Policy. Bonn: Center for Development Research. 2014. № 193. 57 p.
20. *Middleton N., Thomas D.* World Atlas of Desertification. 1997. 192 p.
21. *Nachtergaele F.O., Petri M., Biancalani R., et al.* Global Land Degradation Information System (GLADIS). An Information database for Land Degradation Assessment at Global Level. Ver. 1.0. LADA Technical report № 17. FAO. Rome, 2011.
22. *Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A., Sombroek W.G.* World map of the status of human induced soil degradation. Wageningen: ISRIC/UNEP, 1991.
23. *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. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Bonn, 2017. 129 p.
24. *Sonneveld B.J.G.S., Dent D.L.* How good is GLASOD? // J. Env. Manag. 2009. № 90. P. 274–283.
25. SOTER. Soil and Terrain (SOTER) database programme. 1986–2016. https://www.isric.org/projects/soil-and-terrain-soter-database-programme
26. *Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink G.B.M., et al.* SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning // PLOS ONE. 2017. № 12. e0169748.
27. Trends. Earth. Conservation International. 2018. http://trends.earth
28. UNCCD. Land Degradation Neutrality: The Target Setting Programme. 2016. 20 p.
29. *van Lynden G.W.J.* Guidelines for the assessment of human-induced soil degradation in Central and Eastern Europe (SOVEUR Project). Report 97/08, Int. Soil Reference and Inform. Centre. Wageningen, 1997. 29 p.
30. *van Lynden G.W.J., Odeman L.R.* The assessment of the status of human-induced soil degradation in South and Southeast Asia. Int. Soil Reference and Inform. Centre. Wageningen, 1997. 35 p.

Land Assessment in Russia Based on the Concept of Land Degradation Neutrality

O. V. Andreeva[1] and G. S. Kust[1, *]

[1]*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: kust@igras.ru*

The Land Degradation Neutrality (LDN) concept is a result of the development of global experience in assessing land degradation over the past 40 years. The concept is worked out to harmonize different national methods for monitoring and evaluating the implementation of the Sustainable Development Goals and targets' indicator 15.3.1–"proportion of land that is degraded over total land area." The paper reviews the results of land assessment for Russia using LDN concept approaches, first calculated for individual regions (subjects of the Russian Federation) using the Trends.Earth GIS module. This module uses global databases to interpret three main proxy indicators: land cover dynamics, the dynamics of productivity, the dynamics of soil organic carbon stocks. Using "one out all out" principle, the Trends.Earth calculation for the whole Russia's territory shows the proportion of 12.3% of degraded lands, which is a very averaged indicator for a country with a high variety of socioeconomic and physical-geographical conditions. The variation in the proportion of degraded lands calculated by this method ranges from about 63–67% in the Rostov and Volgograd oblasts to less than 1% in the Amur, Kaluga and Ivanovo oblasts. Considering the multidirectional trends in land quality change the "LDN index" is proposed for the development of the concept. It means the difference between the share of "improved" and "degraded" lands within a certain territory. The results of calculations should be considered as indicative, they will be specified as the LDN approach is developed and adapted for the territory of Russia.

Keywords: land degradation, desertification, global assessment, monitoring, land degradation assessment, land degradation neutrality, LDN index

REFERENCES

1. Andreeva O.V., Kust G.S. Cartographic assessment of desertification / soil cover degradation of Russia. In *Opustynivanie i degradatsiya pochv: Mater. Mezhd. konf. (Moskva, 1999)* [Desertification and Soil Degradation: Proc. Int. Conf. (Moscow, 1999)]. Kust G.S., Ed. M., 1999, pp. 364–376. (In Russ.).
2. *Degradatsiya zemel' i opustynivanie v Rossii: Noveishie podkhody k analizu problemy i poisku putei resheniya* [Land Degradation and Desertification in Russia: The Latest Approaches to Analyzing Problems and Finding Solutions]. Moscow: Pero Publ., 2019. 235 p.
3. Kust G.S., Andreeva O.V., Lobkovskiy V.A. Land degradation neutrality – the new approach for decision making in the field of land use and land policy. *Probl. Postsovetskogo Prostranstva*, 2018, no. 5(4), pp. 369–389. (In Russ.).

4. Kust G.S., Andreeva O.V., Lobkovskiy V.A. Land Degradation Neutrality – the new approach new global concept and methodology for arid regions study at the national level. *Arid Ecosystems*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 87–92.

5. Kust G.S., Glazovskiy N.F., Andreeva O.V., Shevchenko B.P., Dobrynin D.V. The main results of desertification assessment and mapping in the Russian Federation. *Arid. Ekosistemy*, 2002, no. 16, pp. 7–27. (In Russ.).

6. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution A/RES/70/1, adopted by the UN General Assembly on September 25, 2015. Available at: https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_en.pdf (accessed: 27.04.2020).

7. Bai Z., Dent D., Olsson L., Schaepman M. Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use Manage.*, 2008, vol. 24, no. 3, pp. 223–234.

8. Bai Z.G., Dent D.L., Olsson L., Schaepman M.E. *Global Assessment Of Land Degradation and Improvement. 1. Identification by Remote Sensing.* Report 2008/01. Wageningen: ISRIC – World Soil Information, 2008. Available at: https://www.isric.org/sites/default/files/isric_report_2008_01.pdf (accessed: 05.07.2020).

9. Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E., Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno, S., Schutt, B. Ferro, V. Bagarello, V. Van Oost, K., Montanarella, L., Panagos P. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nat. Commun.*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 1–13.

10. Cherlet M., Ivits-Wasser E., Sommer S., Toth G., Jones A., Montanarella L., Belward A. *Land-Productivity Dynamics in Europe – Towards Valuation of Land Degradation in the EU.* Rome, 2018. 162 p. doi 10.2788/70673

11. Cherlet M., Hutchinson C., Reynolds J., Hill J., Sommer S., von Maltitz G. *World Atlas of Desertification: Rethinking Land Degradation and Sustainable Land Management*. Luxembourg: Publ. Office of the EU, 2018. 247 p.

12. ESA. Land Cover CCI Product User Guide Version 2.0. Available at: https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf (accessed: 05.07.2020).

13. *Global Soil Organic Carbon Map. Technical Report*. Rome: FAO, 2018. 162 p.

14. FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC. Harmonized World Soil Database. FAO, Rome – IIASA. Laxenburg, 2008.

15. *Gio Global Land Component - Lot I "Operation of the Global Land Component" Framework Service Contract N 388533 (JRC).* Product user manual. Leaf Area Index. Version 1. Issue I2.20, 2015. Available at: http://icdc.cen.unihamburg.de/fileadmin/user_upload/icdc_Dokumente/COPERNICUS_LAND/ GIOGL1_PUM_LAIV1_I2.20.pdf.

16. *International Standards for the Practice of Ecological Restoration – Including Principles and Key Concepts*. Society for Ecological Restoration (SER) in collaboration with SER Australasia, 2016. 48 p. Available at: https://c.ymcdn.com/sites/www.ser.org/resource/resmgr/docs/SER_InternationalStandards.pdf (accessed: 30.05.2018).

17. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Vol. 4: *Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Eds. Hayama, Kanagawa, Japan: IGES, 2006.

18. Krasilnikov P., Makarov O., Alyabina I., Nachtergaele F. Assessing soil degradation in northern Eurasia. *Geoderma Regional*, 2016, vol. 7, no. 1, pp. 1–10.

19. Le Q.B., Nkonya E., Mirzabaev A. *Biomass Productivity-Based Mapping of Global Land Degradation Hotspots*. ZEF Discussion Papers on Development Policy, no. 193. Bonn: University of Bonn, Center for Development Research (ZEF), 2014. 57 p.

20. *World Atlas of Desertification*. Middleton N., Thomas D., Eds. London, New York: UNEP, 1997. 192 p.

21. Nachtergaele F.O., Petri M., Biancalani R., van Lynden G., van Velthuizen H., Bloise M. *Global Land Degradation Information System (GLADIS)*. An Information database for Land Degradation Assessment at Global Level. Version 1.0. LADA. Technical report no. 17. Rome: FAO, 2011.

22. Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A., Sombroek W.G. *World Map of the Status of Human Induced Soil Degradation*. Wageningen: ISRIC/UNEP, 1991.

23. Orr B.J., A.L. Cowie V.M. Castillo Sanchez, P. Chasek, N.D. Crossman, A. Erlewein, G. Louwagie, M. Maron, G.I. Metternicht, S. Minelli, A.E. Tengberg, S. Walter, S. Welton. *Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality.* A Report of the Science-Policy Interface. Bonn: UNCCD, 2017. 129 p.

24. Sonneveld B.J.G.S., Dent D.L. How good is GLASOD? *J. Environ. Manage.*, 2009, vol. 90, no. 1, pp. 274–283.

25. Soil and Terrain (SOTER) database programme. 1986–2016. ISRIC – World Soil Information. Available at: https://www.isric.org/projects/soil-and-terrain-soter-database-programme (accessed: 05.07.2020).

26. Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink G.B.M., Gonzalez M.R., Kilibarda M., Blagotić A., Shangguan W., Wright M.N., Geng X., 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. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS one*, 2017, vol. 12, no. 2, e0169748.

27. Trends. Earth. Conservation International. 2018. Available at: http://trends.earth.

28. *Land Degradation Neutrality: The Target Setting Programme*. UNCCD, 2016. 20 p.

29. van Lynden G.W.J. *Guidelines for the Assessment of Human-Induced Soil Degradation in Central and Eastern Europe (SOVEUR Project)*. Report 97/08. Wageningen: ISRIC, 1997. 29 p.

30. van Lynden G.W.J., Odeman L.R. *The Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation in South and Southeast Asia*. Wageningen: ISRIC, 1997. 35 p.