



ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-2-109-119

EDN: DZGUJT

УДК 332.36:502

Научная статья / Research article

**Трансформация землепользования
и баланс углерода в биомах Бразилии****Ю.С. Попова**^{ID}✉, **Т.В. Комарова**^{ID}

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
Российская Федерация*
✉popovays@my.msu.ru

Аннотация. Проведен обзор типов наземного покрова и анализ трансформации землепользования в биомах Бразилии за последние 30 лет. Проанализированы данные по углеродному балансу в связи с изменениями наземного покрова. Общая площадь трансформированных земель Бразилии составила более 100 млн га за последние 30 лет. Наибольшие изменения претерпели биомы Амазония, Серрадо, Мата Атлантика и Каатинга. Одна из основных причин трансформации – это расширение сельскохозяйственных земель за счет сокращения лесов. Так, общая доля земель страны, подвергшихся обезлесению, составляет 72 %. Трансформация наземного покрова, имеющая антропогенные причины, влияет на содержание углерода в биомассе. Запасы углерода на примере некоторых биомов Бразилии отрицательные. Наиболее низкий показатель в Каатинге – 43,8 CO₂ Е/год. Основу анализа составили открытые пространственные, статистические данные и международные научные публикации. Цель исследования – изучение трансформации землепользования в некоторых биомах Бразилии и баланса углерода в их экосистемах.

Ключевые слова: геоэкология, лесные ландшафты, сельское хозяйство, наземный покров, потоки углерода

Финансирование. Исследование выполнено в рамках темы государственного задания географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова № 121040100322-8.

© Попова Ю.С., Комарова Т.В., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

«Анализ региональных геоэкологических проблем в условиях глобальных изменений окружающей среды».

Вклад авторов. *Попова Ю.С.* – концептуализация, формулирование идеи, формулирование исследовательских целей и задач, разработка методологии исследования, визуализация данных, написание – подготовка черновика рукописи; *Комарова Т.В.* – деятельность по аккумулярованию исследовательских данных как для первоначального использования, так и для последующего повторного использования, редактирование рукописи. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

История статьи: поступила в редакцию 12.01.2025; доработана после рецензирования 06.02.2025; принята к публикации 26.02.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: *Попова Ю.С., Комарова Т.В.* Трансформация землепользования и баланс углерода в биомех Бразилии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 2. С. 109–119. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-2-109-119>

Land-use transformation and carbon balance in Brazil's biomes

Yulia S. Popova^{ID}✉, Tatiana V. Komarova^{ID}

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

✉popovays@my.msu.ru

Abstract. The study reviews the types of land cover and analyzes the transformation of land use in Brazilian biomes over the past 30 years. Carbon balance data in connection with changes in land cover are analyzed. The total area of Brazil's transformed lands has been counted more than 100 million hectares over the past 30 years. The biomes of Amazonia, Cerrado, Mata Atlantica and Caatinga have undergone the greatest changes. One of the main reasons for the transformation is the expansion of agricultural land through deforestation. Thus, the total proportion of the country's lands subjected to deforestation is 72%. Anthropogenic land cover transformation affects the carbon content in the biomass. Carbon stocks in case of some biomes of Brazil are negative. The lowest rate in Caating is – 43.8 CO₂ E/year. The analysis was based on open spatial, statistical data and international scientific publications. The aim of the research is to study land use transformation in some Brazilian biomes and carbon balance in their ecosystems.

Keywords: agriculture, carbon fluxes, geocology, forest landscapes, land cover

Funding. The research was carried out within the framework of the theme of the state assignment of the Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University No. 121040100322-8. 'Analysing regional geo-ecological problems in the context of global environmental change'.

Authors' contribution. *Popova Yu.S.* – conceptualization, ideas, formulation or evolution of overarching research goals and aims, development or design of methodology, specifically visualization, specifically writing the initial draft; *Komarova T.V.* – management

activities to accumulate research data for initial use and later re-use, editing of the published work. All authors were familiarised with the final version of the article and approved it.

Article history: received 12.01.2025; revised 06.02.2025; accepted 26.02.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Popova YuS, Komarova TV. Land-use transformation and carbon balance in Brazil's biomes. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(2):109–119. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-2-109-119>

Введение

Бразилия – крупнейшая страна Латинской Америки по численности населения (216 422,4 тыс. чел.) и площади суши (8510,3 тыс. км²)¹. Она обладает ведущей экономикой в регионе и является членом многих международных организаций. За последние два десятилетия Бразилия добилась значительного прогресса в области своего развития. Первоочередные и долгосрочные сценарии устойчивого развития страны разрабатываются с учетом, в первую очередь, повышения человеческого потенциала, улучшения управления, увеличения объемов торговли и инвестиций [1]. Вопросы охраны окружающей среды и контроля деградации земель пока являются второстепенными. В Бразилии расположено 5,3 млн км² влажных экваториальных и субэкваториальных лесов (биомы Амазонии и Мата Атлантики) и 3,2 млн км² сухих тропических лесов, саванн, лугопастбищных и водно-болотных угодий (биомы Каатинга, Серрадо, Пантанал и Пампа), что составляет значительную долю площади этих биомов. Саванны Серрадо и сухие леса Каатинги занимают площадь более 2,7 млн км² [2].

За последние три столетия изменения в природной среде, вызванные деятельностью человека в результате землепользования и изменений наземного покрова, усилились особенно во второй половине XX в. Трансформация землепользования по причине обезлесения и развития сельского хозяйства является ключевым фактором изменения климата и вносит значительный вклад в выбросы парниковых газов (ПГ). Производство продовольствия и связанные с ним изменения в землепользовании также являются причиной значительной доли антропогенных выбросов ПГ. Прямые выбросы углерода, непосредственно вызванные изменениями землепользования за период 1992–2015 гг., составили 26,5 Пг (1,15 Пг/год) с тенденцией к снижению до 0,15 Пг/год [3].

В Бразилии, имеющей крупный сельскохозяйственный сектор, прямые источники выбросов ПГ и косвенные (выбросы углерода по причине обезлесения и других форм изменения землепользования) составляют большую часть всех выбросов. Для обеспечения продовольственной безопасности страны при снижении воздействия сельского хозяйства на окружающую среду необходимо внедрять новые стратегии и технологии, которые, с одной

¹ Большая российская энциклопедия. URL: <https://bigenc.ru/c/brazilia-e3108d> (дата обращения: 09.03.2024).

стороны, повысят урожайность сельского хозяйства, а с другой – сократят выбросы ПГ [4; 5].

Бразилия – крупнейший в мире источник чистых выбросов углерода – 17–29 % от общемирового объема [6]. В 2019 г. выбросы составили 2,18 Пг, что на 9,5 % больше, чем в 2018 г., в основном из-за обезлесения и изменений в землепользовании. Высокие требования предъявляются к достижению сокращения выбросов на 43 % к 2030 г. (по сравнению с выбросами 2005 г.). Для достижения этих целей планируется восстановить 12 млн га леса к 2030 г. На 26-й Конференции ООН по изменению климата Бразилия подписала соглашение об остановке процессов обезлесения и деградации земель к 2030 г. [2].

Изменения в землепользовании Бразилии характеризуются быстрым расширением сельскохозяйственных площадей и городских районов за счет лесов и естественных пастбищ. Эти изменения могут способствовать увеличению выбросов углекислого газа, снижению способности связывать углерод и усугублять последствия изменения климата. По оценкам исследователей, на Бразилию приходится 35 % общего объема выбросов углерода в тропических лесах, из них 52 % – на сокращение лесов и естественных пастбищ [7].

В Бразилии наибольшая трансформация землепользования произошла в Амазонии и Серрадо. Одновременно в биомах Мата Атлантика, Каатинга и Пампа отмечены существенные изменения наземного покрова. Преобразования в Бразилии, в основном связанные с развитием сельского и лесного хозяйства, требуют разработки действий в области агроэкологической устойчивости. Нацеленность на повышение устойчивости сельских ландшафтов, сохранение экосистем и в то же время удовлетворение спроса на продовольствие, энергию, воду, сырье и другие товары и услуги формируют потребность к исследованиям динамики и функций экосистем и ландшафтов [8].

Материалы и методы

Анализ наземного покрова, трансформации землепользования основан на использовании пространственных баз данных продуктов The MODIS Terra+Aqua Combined Land Cover product (MODIS)², Глобальной базы по мониторингу лесов Global Forest Watch (GFW)³, картографических данных по Бразилии – MapBiomass⁴, спутниковых данных Sentinel для составления карт растительного покрова по всему миру ESA WorldCover⁵, статистической

² MODIS Land Cover Type/Dynamics. URL: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod12.php> (accessed: 13.03.2024).

³ Global Forest Watch (GFW). URL: <https://data.globalforestwatch.org/> (accessed: 13.03.2024).

⁴ MapBiomass General “Handbook”. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). Collection 8. Version 1. August, 2023 // MapBiomass, 2023. URL: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/ATBD-Collection-8-v1.1.docx.pdf> (accessed: 13.03.2024).

⁵ Worldwide land cover mapping // WorldCover. URL: <https://esa-worldcover.org/en>; Climate Change Initiative Land Cover, CCI-LC // ESA. URL: <https://esa-landcover-cci.org/> (accessed: 13.03.2024).

информации Продовольственной и сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций FAO (Faostat)⁶, Экономической комиссии для Латинской Америки и Карибского бассейна (ECLAC) – CEPALSTAT⁷, а также научных публикаций (особенно в отношении исследований баланса углерода в биомах Бразилии).

Результаты и обсуждение

Трансформация землепользования

Изменение землепользования и наземного покрова в Бразилии мозаично. Исторически освоение территории было ориентировано на разные потребности времени: горная добыча, вырубка леса ради ценных пород деревьев и топлива, развитие сельского хозяйства для решения продовольственной проблемы. В настоящее время в стране землепользование сфокусировано в основном на сельском хозяйстве (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика наземного покрова и землепользования биомов Бразилии

Биом	Площадь, млн га (доля от площади страны %)	Наземный покров	Преобладающий тип землепользования
Амазония	419 (49,29 %)	Вечнозеленый лес с вкраплением саванн на юге, естественными лугопастбищными угодьями и обширными водно-болотными угодьями (20 % биома подверглось обезлесению)	Скотоводство (КРС), земледелие, добыча полезных ископаемых, лесозаготовка и недревесное лесное хозяйство
Мата Атлантика	111 (13,04 %)	Фрагментарность леса, покрывающего 7–10 % биома (в основном вторичные заросли, окруженные пашнями, пастбищами, лесопосадками, городской и транспортной инфраструктурой)	Земледелие, скотоводство (КРС), городская застройка, лесопосадки
Каатинга	84 (9,92 %)	Сухие леса (на 50 % от первоначальной площади трансформированные)	Земледелие, скотоводство (КРС и овцеводство), недревесное лесоводство и урбанизация
Серрадо	203 (23,92 %)	Мозаика саванн, лугов и лесов (50 % коренной растительности преобразована)	Земледелие, скотоводство (КРС) и лесозаготовки для добычи угля
Пампа	17 (2,07 %)	Естественные пастбища с разбросанными кустарниками и деревьями, скальными выступами	Земледелие, скотоводство (КРС) (на естественных пастбищах), лесонасаждения и урбанизация
Пантанал	17 (1,76 %)	Водно-болотные угодья	Земледелие и скотоводство (КРС)

Источник: составлено Ю.С. Поповой, Т.В. Комаровой по данным Mapbiomas. URL: <https://brasil.mapbiomas.org/en/> (accessed: 11.10.2024).

Переход от лесов к пастбищам является доминирующим процессом на границе биома Амазонии, в то время как в центральных районах Бразилии он

⁶ FAOSTAT. The Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/faostat/> (accessed: 12.03.2024).

⁷ CEPALSTAT. Statistical Databases and Publications. URL: <https://statistics.cepal.org/> (accessed: 11.03.2024).

в основном характеризуется расширением посевов сои на месте пастбищ. Динамика площадей водно-болотных угодий и лугопастбищных угодий в Пантанале определяется межгодовой изменчивостью осадков. В биомах Мата Атлантика и Амазония намечены процессы лесовосстановления на месте пашен [5; 9]. Однако нет достоверных количественных значений по Бразилии о переходах одного типа наземного покрова в другой и недостаточно данных о динамике землепользования. Его анализ на примере площадей пастбищ по пространственным данным демонстрирует заметные различия в значениях площадей (табл. 2).

Таблица 2. Площадь пастбищ Бразилии по пространственным данным за 2020 г.

Тип данных	Площадь пастбищ, млн га
Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS	186,8
WorldCover	183,8
Faostat	173,4

Источник: составлено Ю.С. Поповой, Т.В. Комаровой с помощью пространственных данных: MODIS. URL: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/> (accessed: 11.10.2024); Worldcover. URL: <https://esa-worldcover.org/en>, (accessed: 11.10.2024); Faostat. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#home> (accessed: 11.10.2024).

Площадь пастбищ в Бразилии стремительно увеличивалась к 2005 г., а в последующие годы постепенно начала замещаться пашней, преимущественно с посевами сои, а на месте влажных экваториальных лесов – плантациями, занятыми масличной пальмой. Чистая площадь пастбищ увеличилась только в Амазонии и Пантанале, сократившись в других биомах из-за преобразования пастбищных угодий в интенсивное земледелие. В 2020 г. 48 % земель в Бразилии были заняты под пастбища, 25 % – под пашни (9 % – под выращивание сои и 16 % – под другие сельскохозяйственные культуры). Процесс обезлесения, вызванный распространением пастбищ, сохраняется в большинстве биомов. На первичное и вторичное обезлесение растительности приходится значительная часть общей потери лесов – 72 и 17 % соответственно. Более низкие темпы обезлесения зафиксированы в биоме Мата Атлантика, на который с 1986 г. оказывает значительное влияние антропогенная деятельность. При этом в данном биоме сохранилось только 8 % лесных экосистем [5; 9].

Очевидно, что сокращение лесопокрытых площадей происходит за счет расширения сельскохозяйственных земель: пастбищ и пашен (рис. 1). Амазония и Серрадо в совокупности потеряли примерно 15 690 км² леса в период с 2010 по 2020 г. [6]. Биом Серрадо, представленный саваннами, расположен на востоке Бразилии. Он занимает площадь в 204 млн га. По оценкам исследователей, около 46 % естественной растительности находится в нетронутом состоянии. Пастбища занимают 25,13 % от площади Серрадо, однолетние и многолетние культуры (в основном соя, кукуруза, хлопок) – 12,85 % [10]. Этот биом в настоящее время является главным сельскохозяйственным районом Бразилии.

Антропогенная трансформация в биомах Бразилии за период с 2000 по 2018 г. увеличивалась и составляет от 82,2 % (в Мата Атлантика) до 11,6 % (в Пантанал) от площади биомов (рис. 2).

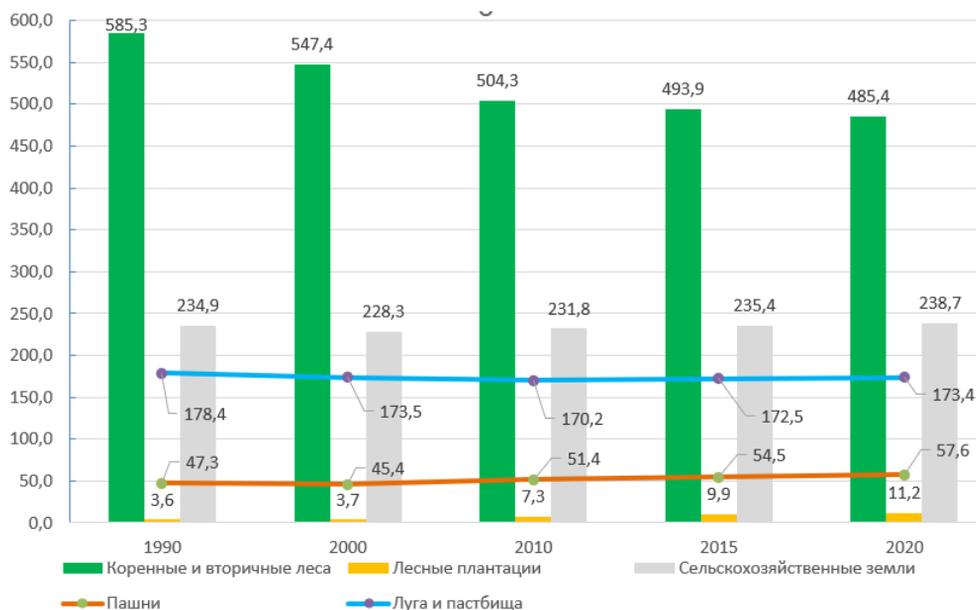


Рис. 1. Соотношение лесопокрывов и сельскохозяйственных площадей, млн га

Источник: составлено Ю.С. Поповой, Т.В. Комаровой по данным: CEPAL.

URL: <https://www.cepal.org/en> (accessed: 11.10.2024).

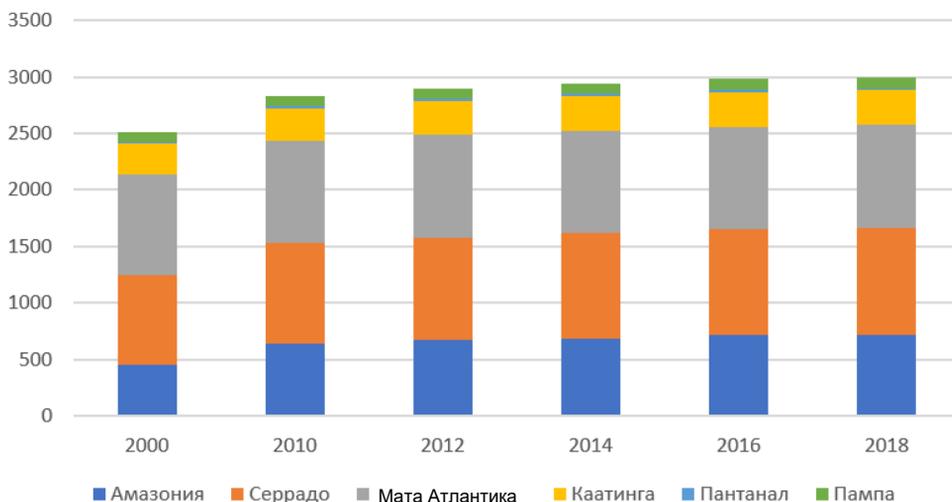


Рис. 2. Антропогенная трансформация в биомах Бразилии в период 2000–2018 гг., млн га

Источник: составлено Ю.С. Поповой, Т.В. Комаровой по данным: MapBiomas. URL:

<https://brasil.mapbiomas.org/en/> (accessed: 11.10.2024).

Углеродный баланс

Бразилия занимает пятое место в мире по выбросам ПГ, а также обладает одним из самых больших потенциалов для восстановления и сохранения экосистем. Запасы углерода в живой биомассе оцениваются 51 894,2 млн т (рис. 3). В краткосрочной перспективе сокращение выбросов за счет сохранения экосистем будет необходимо Бразилии для достижения ее климатической цели на 2030 год, поскольку она может сократить выбросы от 1,5 до 4,3 Пг, по сравнению с 0,127 Пг в результате восстановления экосистем. Однако в долгосрочной перспективе восстановление во всех биомах Бразилии может привести к сокращению выбросов на 3,9–9,8 Пг к 2050 и 2080 гг. [2].

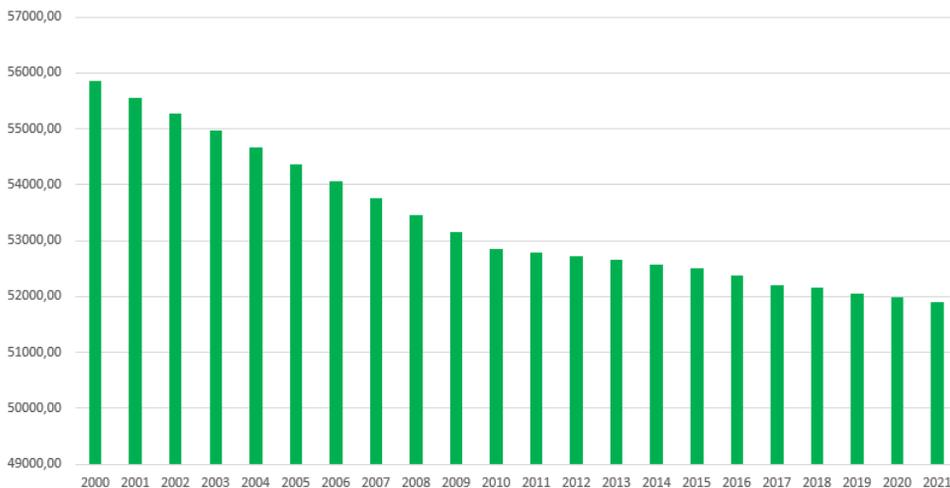


Рис. 3. Запас углерода Бразилии в живой биомассе, млн т
 Источник: составлено Ю.С. Поповой, Т.В. Комаровой по данным: Faostat.
 URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#home> (accessed: 11.10.2024).

По данным исследований, леса Амазонии содержат около 229–280 Пг углерода в живой биомассе и почвах, что составляет около 10 % мировых запасов углерода в почве. Однако для биома Амазонии был получен прогнозный результат, который показывает, что общее поглощение углерода достигнет 736 904 т к 2050 г. [7].

На запасы углерода в бразильских биомах негативно повлияло значительное изменение землепользования и растительного покрова, связанное с демографической и сельскохозяйственной экспансией. Несмотря на значительное замедление темпов обезлесения в Бразилии, на ее долю по-прежнему приходится от 17 до 29 % глобальных выбросов. Однако расхождения в расчетах по Бразилии в рамках глобального бюджета углеродного цикла внесли свой вклад в значительную долю соответствующей общей глобальной неопределенности [8].

По данным системы глобального мониторинга лесов (Global Forest Watch), на примере некоторых биомов Бразилии показано, что площадь леса

существеннее меньше прочих типов наземного покрова и составляет от 18 до 45 % (табл. 3).

Например, Биом Серрадо считается одной из горячих точек биоразнообразия в мире, и в настоящее время этот регион имеет самую большую сельскохозяйственную площадь в стране, что привело к потере 55 % коренных и вторичных типов растительности. Вместе с тем на этот регион приходится 26 % страновых выбросов углерода в результате изменений в землепользовании [11]. Приведенные данные по потокам углерода по некоторым биомам Бразилии демонстрируют отрицательные запасы.

Таблица 3. Соотношение площадей наземного покрова и потоков углерода в биомех Серрадо, Каатинга, Пантанал

Биом	Площадь, млн га	Площадь леса, млн га	Площадь прочих типов наземного покрова	Потоки углерода, млн т CO ₂ E/год		
				выбросы	поглощение	запасы
Серрадо	29,58	11	18,6	48,4	-66,9	-18,5
Каатинга	71,37	13	58,4	23,3	-67,2	-43,8
Пантанал	15,45	6,99	8,46	16,3	-35,2	-18,8

Источник: составлено Ю.С. Поповой, Т.В. Комаровой по данным GFW.

Заключение

В Бразилии разрабатываются различные программы, направленные на минимизацию последствий трансформации землепользования, и в частности воздействия сельского хозяйства на экосистемы. Современная тенденция состоит в разработке и внедрении альтернативных подходов, широко известных как низкоуглеродные методы ведения сельского хозяйства, которые направлены на сокращение выбросов в сельском хозяйстве без ущерба для производительности. Несколько низкоуглеродных методов ведения сельского хозяйства включают интегрированные системы растениеводства, животноводства и лесопользования, улучшенную обработку отходов животноводства, восстановление деградированных пастбищ, безотвальную обработку почвы, биологическую фиксацию азота и лесопосадки. Однако в современных реалиях в Бразилии существует недостаток институциональной базы, реализация стратегий происходит не в запланированные сроки.

Поскольку выбросы в результате обезлесения и изменений в землепользовании продолжали увеличиваться в течение последних десятилетий, сохранение и восстановление экосистем все чаще рассматриваются как необходимые меры для достижения целей по смягчению последствий изменения климата. Глобальные соглашения чаще всего связаны со смягчением последствий изменения климата, возможно, из-за существования устоявшегося глобального углеродного рынка. Преобладание потенциала связывания углерода в качестве основного критерия для определения того, где следует осуществлять эти действия, привело к глобальному сосредоточению внимания на восстановлении лесных экосистем, особенно влажных тропических лесов

(например, биома Амазония), известных своим высоким потенциалом накопления углерода. При этом другие биомы, такие как травянистые и древесные саванны, которые покрывают 50 % тропических районов мира, испытывают не меньшую деградацию (в Бразилии – это биомы Серрадо и Каатинга). Более того, имеются убедительные доказательства того, что эти сезонно засушливые биомы имеют высокую ценность с точки зрения их вклада в накопление углерода, разнообразие видов растений, национальную водную безопасность и местные ресурсы для коренных народов. В этом аспекте для Бразилии немаловажным фактором может стать переориентация стратегий на восстановление экосистем наиболее деградированных экосистем.

Список литературы

- [1] *Scott A.C., Bohl D.K., Hedden S., Moyer J.K., Hughes B.B.* Sustainable Development Goals Report: Brazil 2030. 2017. 82 с.
- [2] *Santos C.O., Pinto A.S., Santos M.P., Alves B.J.R., Neto M.B.R., Ferreira L.G.* Livestock intensification and environmental sustainability: An analysis based on pasture management scenarios in the Brazilian savanna // *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 355. Article no. 120473. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120473> EDN: PXFIAU
- [3] *Алексеева Н.Н., Банчева А.И., Гринфельдт Ю.С., Петров Л.А., Третьяченко Д.А.* Оценка выбросов углерода вследствие изменений землепользования на глобальном и региональном уровнях в зарубежных исследованиях // *География и природные ресурсы*. 2024. № 1. С. 15–26. <http://dx.doi.org/10.15372/GIPR20240102>. EDN: GWNPN1
- [4] *Sousa-Neto E.R., Gomes L., Nascimento N., Pacheco F., Ometto J.P.* Chapter 20 – Land Use and Land Cover Transition in Brazil and Their Effects on Greenhouse Gas Emissions // *Muñoz M.Á., Zornoza R. (eds.). Soil Management and Climate Change*. Academic Press, 2018. P. 309-321.
- [5] *Broggio I., Silva-Junior C.H.L., Nascimento M.T., Villela D.M., Aragão L.E.O.C.* Quantifying Landscape Fragmentation and Forest Carbon dynamics over 35 years in the Brazilian Atlantic Forest // *Environmental Research Letters*. 2024. Vol. 19, no. 3. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ad281c>
- [6] *Rosan T.M., Goldewijk K.K., Ganzenmüller R., O'Sullivan M.* A multi-data assessment of land use and land cover emissions from Brazil during 2000-2019 // *Environmental Research Letters*. 2021. Vol. 16, no. 7. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ac08c3> NDUQLX
- [7] *Feitosa T.B., Fernandes M.M., Celso A. G. S., Silva R.M., Garcia J.R.G., Filho R.N.A., Fernandes M.R.M., Cunha E.R.* Assessing economic and ecological impacts of carbon stock and land use changes in Brazil's Amazon Forest: A 2050 projection // *Sustainable Production and Consumption*. 2023. Vol. 41, no. 2. P. 64-74. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.07.009> EDN: RKBSHA
- [8] *Klimanova O., Naumov A., Greenfieldt Yu., Prado R.B., Tretyachenko D.* Recent Regional Trends of Land Use and Land Cover Transformations in Brazil // *Geography, Environment, Sustainability*. 2017. Vol. 10, no. 4. P. 98-116. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2017-10-4-98-116> EDN: YMURFT
- [9] *Caballero C.B., Biggs T.W., Vergopolan N., West T.A.P., Ruhoff A.* Transformation of Brazil's biomes: The dynamics and fate of agriculture and pasture expansion into native vegetation // *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 896. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166323> EDN: FLVXVQ

- [10] *De Carvalho A.M., Jesus D.R., Sousa T.R., Figueiredo C.C., Oliveira A.D., Marchão R.L., Ribeiro F.P., Dantas R.A., Borges L.A.B.* Soil Carbon Stocks and Greenhouse Gas Mitigation of Agriculture in the Brazilian Cerrado—A Review // *Plants*. 2023. Vol. 12, no. 13. <https://doi.org/10.3390/plants12132449> EDN: RZWQZP
- [11] *Ribeiro F.P., Gatto A., Oliveira A.D., Pulrolnik K., Valadão M.B.X., Araújo Ju.B.C.N., Carvalho A.M., Ferreira E.A.B.* Carbon Storage in Different Compartments in Eucalyptus Stands and Native Cerrado Vegetation // *Plants*. 2023. Vol. 12, no. 14. <https://doi.org/10.3390/plants12142751> EDN: RBYMMO

Сведения об авторах:

Попова Юлия Сергеевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. ORCID: 0000-0003-3864-6838; eLIBRARY SPIN-код: 9479-0370. E-mail: popovays@my.msu.ru

Комарова Татьяна Владимировна, ведущий инженер кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. ORCID: 0009-0006-8377-1100; eLIBRARY SPIN-код: 6743-8973. E-mail: tanja37@yandex.ru