



Формирование концептуальной модели и принципов построения цифровой экосистемы для устойчивого развития особо охраняемых природных территорий

Роман Робертович Гареев¹, Анна Игоревна Кошелева², Осман Мурадович Халов³✉

^{1, 2, 3} Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, Москва, Россия

¹ Gareev.RR@rea.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8281-415X>

² Kosheleva.AI@rea.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8309-7180>

³ Halov.OM@rea.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-7573-9721>

Аннотация

Цель. Разработать концептуальную архитектуру и научно обоснованные принципы функционирования цифровой экосистемы, направленной на обеспечение баланса между рекреационной деятельностью, инвестиционной привлекательностью особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и задачами сохранения биоразнообразия в рамках национальной ESG-повестки.

Задачи. Провести критический анализ существующего состояния цифровизации управления туристическими потоками на ООПТ Российской Федерации; идентифицировать экономические барьеры кросс-индустриального взаимодействия бизнеса и природоохранных учреждений; обосновать необходимость перехода от статичных нормативов рекреационной емкости к динамическим моделям с учетом больших данных; разработать компонентную структуру цифрового решения, агрегирующего геоаналитику, экономику экосистемных сервисов и инструменты распределенного реестра.

Методология. Исследование основано на методологии системного анализа архитектуры предприятия, концепции платформенной экономики, а также методах имитационного моделирования в среде агентного подхода (AnyLogic). В качестве эмпирической базы использованы отчетные данные о посещаемости пилотных национальных парков и результаты анализа существующих ГИС-решений Минприроды России.

Результаты. Охарактеризована авторская концептуальная модель трехуровневой цифровой экосистемы ООПТ (сбор данных — верификация — монетизация экосервисов). Выявлено, что ключевым драйвером внедрения платформенных решений выступает потребность индустриальных партнеров в верифицируемых единицах снижения углеродного следа и компенсации биоразнообразия. Доказана экономическая эффективность применения динамического нормирования антропогенной нагрузки по сравнению с традиционными административными ограничениями. Предложены принципы интеграции цифрового двойника туристической дестинации с корпоративными системами ESG-отчетности.

Выводы. Разработанная модель позволяет трансформировать ООПТ из дотационных объектов в активных участников рынка «зеленых» финансовых инструментов, создавая устойчивую экономическую основу для сохранения природного наследия. Практическое применение модели сдерживается отсутствием отраслевого стандарта обмена геопространственными данными и недостаточной правовой определенностью статуса экосистемных сервисов в российском законодательстве.

Ключевые слова: особо охраняемые природные территории, цифровая экосистема, рекреационная емкость, ESG-партнерство, туристический поток, геоинформационные системы, платформенная экономика

Для цитирования: Гареев Р. Р., Кошелева А. И., Халов О. М. Формирование концептуальной модели и принципов построения цифровой экосистемы для устойчивого развития особо охраняемых природных территорий // *Экономика и управление*. 2026. Т. 32. № 6. С. 725–735. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2026-6-725-735>

Благодарности: статья подготовлена при финансовой поддержке ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова».

© Гареев Р. Р., Кошелева А. И., Халов О. М., 2026

Formation of a conceptual model and principles for building a digital ecosystem for the sustainable development of specially protected natural areas

Roman R. Gareev¹, Anna I. Kosheleva², Osman M. Khalov³✉

^{1, 2, 3} Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

¹ Gareev.RR@rea.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8281-415X>

² Kosheleva.AI@rea.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8309-7180>

³ Halov.OM@rea.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-7573-9721>

Abstract

Aim. To develop a conceptual architecture and scientifically grounded principles for the functioning of a digital ecosystem aimed at ensuring a balance between recreational activity, the investment attractiveness of specially protected natural areas (SPNAs), and biodiversity conservation objectives within the framework of the national ESG agenda.

Objectives. To conduct a critical analysis of the current state of digitalization in managing tourist flows within SPNAs of the Russian Federation; to identify the economic barriers to cross-industry collaboration between businesses and conservation institutions; to substantiate the need to transition from static recreational capacity standards to dynamic models based on big data; to develop the component structure of a digital solution that integrates geoanalytics, ecosystem services economics, and distributed ledger tools.

Methods. The research is based on the methodology of enterprise architecture systems analysis, the platform economy concept, and agent-based simulation methods (AnyLogic). The empirical foundation includes reported data on visitor numbers from pilot national parks and the results of an analysis of existing geographic information system (GIS) solutions used by the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation.

Results. The study presents the author's conceptual model of a three-level digital ecosystem for SPNAs (data collection — verification — monetization of ecosystem services). The analysis reveals that the key driver for implementing platform solutions is industrial partners' need for verifiable carbon footprint reduction and biodiversity offset units. The study demonstrates the economic efficiency of dynamic anthropogenic load regulation compared to traditional administrative restrictions. The paper proposes principles for integrating a digital twin of a tourist destination with corporate ESG reporting systems.

Conclusions. The developed model enables the transformation of SPNAs from subsidized entities into active participants in the green financial instruments market, thereby creating a sustainable economic foundation for preserving natural heritage. Practical application of the model is constrained by the absence of an industry standard for geospatial data exchange and insufficient legal certainty regarding the status of ecosystem services in Russian legislation.

Keywords: specially protected natural areas, digital ecosystem, recreational capacity, ESG partnership, tourist flow, geographic information systems, platform economy

For citation: Gareev R.R., Kosheleva A.I., Khalov O.M. Formation of a conceptual model and principles for building a digital ecosystem for the sustainable development of specially protected natural areas. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2026;32(6):725-735. (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2026-6-725-735>

Acknowledgments: This paper was prepared with financial support from the Plekhanov Russian University of Economics.

Введение

Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в Российской Федерации (РФ) в настоящее время характеризуется фундаментальным противоречием между стратегическими целями развития экологического туризма и императивом со-

хранения уникальных природных комплексов. Согласно государственной программе «Развитие туризма», к 2030 г. планируется увеличение количества туристических поездок до 140 млн в год, при этом значительная часть рекреационной нагрузки приходится именно на ООПТ и прилегающие к ним буферные зоны¹.

¹ О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: указ Президента РФ от 7 мая 2024 г. № 309 // Гарант.ру: информ.-правовой портал. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408892634/> (дата обращения: 15.04.2026).

Указ Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529¹ относит технологии создания доверенного и защищенного системного и прикладного программного обеспечения (ПО) для управления социальными и экономически значимыми системами к числу критических, а технологии искусственного интеллекта (ИИ) — к сквозным технологиям РФ. Эти технологические приоритеты напрямую коррелируют с задачей цифровой трансформации управления природными резерватами, сформулированной в Стратегии научно-технологического развития РФ (подп. «а» и «з»), утвержденной Указом Президента РФ от 28 февраля 2024 г. № 145. Как пишет Б. Н. Порфирьев, экологическая повестка становится неотъемлемым элементом системы приоритетов технологического развития России, требуя внедрения передовых цифровых решений в природоохранную деятельность [1].

Анализ современного состояния цифровизации ООПТ выявляет системный разрыв: государственные информационные системы (ИАС «ООПТ», ФГИС «Экомониторинг») ориентированы преимущественно на учетно-регистрационные функции и не обеспечивают экономически значимого взаимодействия между природоохранными учреждениями, бизнесом и регионами. Методики расчета предельно допустимой рекреационной нагрузки (ПДРН) базируются на статичных подходах 80-х гг. XX в., подробно описанных в трудах В. П. Чижовой, и не учитывают возможности потоковой обработки больших данных. Это приводит к неэффективному использованию туристско-рекреационного потенциала ООПТ [2].

Постановка научной проблемы

Научная проблема, решаемая в рамках настоящего исследования, определена отсутствием концептуально обоснованной архитектурной модели цифровой экосистемы, способной обеспечить конвергенцию трех разнородных контуров управления: 1) экологического (мониторинг состояния биосферных объектов на основе больших данных и ИИ); 2) экономического (привлечение ESG-инвестиций и монетизация экосистемных сервисов); 3) социального (управление

туристическими потоками в режиме реального времени).

Требуется разработать не просто информационную систему, а именно экосистемную платформу, при которой ценность создается за счет сетевых эффектов взаимодействия множества экономических агентов, в частности ООПТ, промышленных предприятий, туроператоров, региональных органов власти. Как пишет О. И. Шаравова, научные основы и организационно-технологические источники формирования цифровых экосистем создают предпосылки для качественной трансформации экономических отношений в различных отраслях, включая сферу природопользования [3].

Литературный обзор

Проблематика цифровизации природоохранной деятельности находится на стыке нескольких научных дисциплин. В области оценки экосистемных сервисов доминирует методология Организации Объединенных Наций (ООН) System of Environmental-Economic Accounting — Ecosystem Accounting (SEEA-EA), адаптированная к российским условиям в работах С. Н. Бобылева и В. М. Захарова [4], а также в фундаментальном труде А. А. Тишкова, раскрывающего биосферные функции и экосистемные услуги наземных экосистем России [5]. Глобальная динамика стоимости экосистемных сервисов и их изменение под воздействием антропогенных факторов детально проанализированы в исследовании Р. Костанца и соавторов, результаты которого сохраняют высокую научную актуальность [6].

В исследованиях М. А. Измайловой раскрыт потенциал цифровых инструментов при реализации ESG-повестки российскими компаниями, включая технологии ИИ и распределенных реестров, что создает благоприятную среду для кросс-индустриального партнерства с ООПТ [7]. В сфере управления рекреационной нагрузкой, помимо классических трудов В. П. Чижовой, значительный интерес представляет методика пределов допустимых изменений (LAC), адаптированная А. Д. Калихманом и Т. П. Калихманом, доказавшая эффективность в условиях уникальных экосистем [8].

¹ Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий: указ Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202406180018> (дата обращения: 15.04.2026).

Современные исследования отражают значительный потенциал использования обезличенных данных мобильных операторов и методов машинного обучения для предиктивной аналитики туристических потоков. В частности, Международный опыт цифровизации природных территорий, включая концепции Digital Ecologies и Smart Protected Areas, представлен в работах У. Гретцеля и коллег, сформировавших теоретические основы «умного туризма» [9], а также в исследованиях Д. Тернбулл и соавторов [10].

Важным направлением считаем развитие механизмов финансирования природоохранной деятельности. А. В. Птичников, Е. А. Шварц и Д. А. Кузнецова детально рассматривают методологию, верификацию и экономику углеродных единиц, получаемых от лесоклиматических проектов, что может быть адаптировано и для ООПТ [11]. Исследование И. А. Яковлева и Л. С. Кабир посвящено «зеленым» финансовым инструментам для сохранения биоразнообразия применительно к российским охраняемым территориям [12].

Теоретический фундамент экосистемного подхода представлен в работе Д. Г. Паркера и соавторов, в которой речь идет о механизмах функционирования платформенных рынков [13]. Методология агентного моделирования, необходимая для создания цифровых двойников туристических потоков, детально изложена в монографии У. Виленски и В. Рэнда [14]. Архитектурные аспекты проектирования сложных информационных систем освещены в работе М. Ланкхорста, предлагающего инструментарий моделирования и анализа архитектуры предприятия [15]. Правовые и регуляторные аспекты цифровой трансформации природоохранной деятельности в международном контексте исследованы Н. Ганнингемом и К. Холли [16].

Отечественный опыт внедрения цифровых платформ в смежных отраслях обобщен в монографии Д. М. Журавлева, рассматривающего цифровые платформы как драйвер ESG-трансформации региональной экономики на примере туристических территорий [17].

Критический анализ литературы позволяет констатировать, что, несмотря на наличие отдельных технологических решений и экономических концепций, целостная модель цифровой экосистемы, связывающая

уровень первичного сбора данных с уровнем финансовых транзакций в контуре ООПТ, в научной литературе не представлена.

Материалы и методы

Исследование базируется на синтезе трех методологических подходов, обеспечивающих системность и верифицируемость полученных результатов. Во-первых, применен метод архитектурного моделирования в соответствии с фреймворком The Open Group Architecture Framework (TOGAF), детально изложенным в работе М. Ланкхорста [15]. Данный метод помогает формализовать описание архитектуры AS-IS (существующее состояние цифровизации ООПТ) и разработать целевую архитектуру TO-BE с детализацией бизнес-слоя (процессов управления), слоя данных (информационных потоков) и технологического слоя (программно-аппаратной инфраструктуры). Выбор TOGAF обусловлен его применимостью для проектирования сложных социотехнических систем в государственном секторе, что соответствует задачам создания доверенного ПО для управления социально и экономически значимыми системами.

Во-вторых, для моделирования динамики туристических потоков и расчета рекреационной емкости использован метод агентного имитационного моделирования (Agent-Based Modeling, ABM), теоретические основы которого изложены в монографии У. Виленски и В. Рэнда [14]. В отличие от классических системно-динамических моделей, ABM позволяет симулировать поведение отдельных децентрализованных агентов (туристов) с индивидуальными характеристиками, такими как скорость передвижения, время пребывания на точке интереса, реакция на загруженность тропы. Приведенный подход соответствует приоритетному направлению Стратегии научно-технологического развития РФ (подп. «а») в аспекте применения технологий машинного обучения и ИИ. Программная реализация модели осуществлена в среде AnyLogic 8.9.

В-третьих, для экономического обоснования механизмов партнерства применена теория многосторонних платформ (Multi-sided Platforms Theory), разработанная Дж. Дж. Паркером, М. В. Ван Альстин и С. П. Чоудари [13], в сочетании с методологией оценки экосистемных сервисов [4; 5; 6]. Согласно этой теории, цифровая

экосистема создает ценность за счет снижения транзакционных издержек на поиск, верификацию и исполнение контрактов между группами пользователей (это ООПТ, инвесторы, туроператоры).

Материалы и источники данных

Эмпирическую базу исследования составили следующие материалы.

1. Ведомственная статистика Минприроды России о посещаемости национальных парков за 2019–2024 гг. (агрегированные данные о 67 ООПТ федерального значения).

2. Обезличенные геопространственные данные операторов сотовой связи о перемещении абонентов в границах пилотных ООПТ (национальные парки «Куршская коса», «Кисловодский», «Красноярские Столбы») за 2023–2024 гг., методология обработки которых коррелирует с подходами, охарактеризованными в исследованиях, рассмотренных ранее.

3. Корпоративные стандарты нефинансовой отчетности (GRI 304: Biodiversity; SASB) и публичные ESG-отчеты пятнадцати крупнейших промышленных компаний РФ за 2024 г., анализ которых представлен в работах М. А. Измайловой [7].

4. Техническая документация и API-спецификации действующих государственных информационных систем (ИАС «ООПТ», ФГИС «Экомониторинг»).

5. Результаты лабораторных испытаний прототипа программного комплекса, полученные на первом этапе реализации НИОКТР (УГТ 2, четвертый уровень готовности технологии).

Результаты

Анализ архитектуры AS-IS и выявление функциональных разрывов

При проведении архитектурного анализа современного состояния цифрового ландшафта управления ООПТ выявлено три критических функциональных разрыва (gaps), препятствующих формированию устойчивой экосистемы.

1. Информационный разрыв. Отсутствие единых стандартов и API для обмена данными между ведомственными ГИС-системами и коммерческими платформами (туроператоры, агрегаторы). Данные о фактической посещаемости поступают в администрации ООПТ с лагом от одного до трех месяцев,

что исключает возможность оперативного регулирования нагрузки и противоречит задачам перехода к передовым технологиям обработки больших объемов данных. Аналогичные проблемы фрагментации данных прослеживаются в исследованиях Д. М. Журавлева [17].

2. Аналитический разрыв. Использование статичных формул расчета ПДРН без учета сезонной и пространственной вариабельности устойчивости экосистем. Как показано в трудах В. П. Чижовой [2] и А. Д. Калихмана и Т. П. Калихмана [8], расчет ПДРН для экологической тропы производится по формуле:

$$E = S/N, \quad (1)$$

где S — площадь зоны;

N — норматив нагрузки (чел./га).

Изложенный подход игнорирует фактор концентрации посетителей в точках аттракции и не использует возможности технологий машинного обучения для предиктивной аналитики.

3. Финансовый разрыв. Невозможность прямого привлечения частных инвестиций в инфраструктуру ООПТ в обмен на признаваемый ESG-результат. Бизнес готов финансировать проекты по сохранению биоразнообразия, но требует верифицируемого цифрового следа, подтверждающего достижение заявленных KPI в соответствии с международными стандартами нефинансовой отчетности [16].

Концептуальная модель цифровой экосистемы DEEPA (TO-BE Architecture)

Для устранения выявленных разрывов разработана трехуровневая концептуальная модель цифровой экосистемы DEEPA (Digital ESG Ecosystem for Protected Areas), опирающаяся на научные основы формирования цифровых экосистем [3] и теорию платформенной экономики [13]. Формальное описание архитектуры представлено в таблице 1.

Принципы построения цифровой экосистемы устойчивого развития ООПТ

С учетом проведенного анализа и разработанной архитектурной модели сформулировано пять базовых принципов построения цифровой экосистемы устойчивого развития ООПТ.

Принцип 1. Доверенная верификация первичных данных. Архитектура экосистемы должна обеспечивать неизменность

Архитектурные уровни и компоненты модели DEEPA
Table 1. Architectural levels and components of the DEEPA model

Уровень	Ключевые компоненты	Функциональное назначение	Соответствие критическим технологиям РФ
Уровень 1. Сбор и интеграция данных	IoT-сенсоры (фотоловушки, метеостанции, датчики качества воздуха); API-коннекторы к данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) ¹ (Sentinel, Канопус-B); модуль обработки CDR/Geodata операторов связи	Сбор и первичная агрегация гетерогенных потоковых данных о состоянии природной среды и антропогенной нагрузке	Технологии обработки больших объемов данных (подп. «а» Стратегии научно-технологического развития РФ)
Уровень 2. Основные этапы верификации и моделирования	Цифровой двойник туристической дестинации (ABM-модель); модуль расчета динамической емкости на основе ИИ; доверенный реестр первичных данных (DLT)	Верификация данных, имитационное моделирование сценариев нагрузки, выработка управляющих рекомендаций	Технологии ИИ; доверенное ПО для управления социально и экономически значимыми системами (Указ Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529)
Уровень 3. Торговая площадка и взаимодействие	Витрина ESG-проектов; конструктор смарт-контрактов; дашборды стейкхолдеров (ООПТ, инвестор, регион)	Обеспечение экономического взаимодействия, токенизация экосистемных сервисов, визуализация отчетности	Защищенное прикладное ПО; оценка климатически активных веществ (подп. «з» Стратегии научно-технологического развития РФ)

Источник: составлено авторами на основе результатов НИОКТР, с использованием методологии архитектурного моделирования [15].

и прослеживаемость первичных данных мониторинга состояния природных комплексов с использованием технологий распределенного реестра и электронной цифровой подписи (ГОСТ Р 34.10-2012). Реализация этого принципа соответствует критической технологии «Технологии создания доверенного и защищенного системного и прикладного программного обеспечения» (п. 13 Указа Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529) и учитывает регуляторные тенденции, описанные Н. Ганнингемом и К. Холли [16].

Принцип 2. Динамическое нормирование антропогенной нагрузки. Переход от статичных нормативов ПДРН [2] к адаптивным показателям, рассчитываемым в режиме реального времени на основе потоковых данных и моделей машинного обучения. Указанный принцип реализует положения Стратегии научно-технологического развития РФ в аспекте применения технологий ИИ и обработки больших данных, а также учитывает международный опыт, обобщенный в работе Р. Костанца и соавторов [6].

Принцип 3. Кросс-индустриальная интеграция. Обеспечение бесшовного информационного обмена между государственными информационными системами (ИАС «ООПТ»), корпоративными системами

ESG-отчетности промышленных предприятий и региональными цифровыми платформами через унифицированные API-шлюзы. Этот принцип коррелирует с выводами Д. М. Журавлева о роли цифровых платформ в ESG-трансформации региональной экономики [17].

Принцип 4. Экономическая монетизация экосистемных сервисов. Создание механизмов трансформации результатов природоохранной деятельности в признаваемые рынком цифровые активы (углеродные единицы, сертификаты сохранения биоразнообразия) с использованием смарт-контрактов. Рассматриваемый принцип соответствует задачам объективной оценки выбросов и поглощения климатически активных веществ (подп. «з» Стратегии научно-технологического развития) и опирается на методологию, разработанную А. В. Птичниковым, Е. А. Шварц, Д. А. Кузнецова [11], а также на инструментарий «зеленых» финансов, изученный И. А. Яковлевым и соавторами [12].

Принцип 5. Мультиагентное взаимодействие. Обеспечение равноправного доступа всех экономических агентов (в их числе — ООПТ, крупные промышленные предприятия, малое и среднее предпринимательство,

¹ ГК «СКАНЭКС» // Каталог технологии. URL: https://www.scanex.ru/upload/pdf/Каталог_Технологии_2022.pdf (дата обращения: 22.04.2026).

население, региональные органы власти) к инструментам экосистемы через персонализированные цифровые интерфейсы (дашборды, маркетплейс проектов), что соответствует экосистемной парадигме, обоснованной О. И. Шаравовой [3].

Алгоритм динамического нормирования рекреационной емкости. Ключевым результатом второго уровня модели служит разработанный алгоритм расчета динамической рекреационной емкости (DRE). В отличие от статичного норматива N , подробно рассмотренного в работах В. П. Чижовой [2] и А. Д. Калихмана и Т. П. Калихмана [8], предлагаемый показатель рассчитывают в реальном времени, как функцию от вектора состояния экосистемы, по формуле:

$$DRE_i(t) = E_{base} \times k_{weather}(t) \times k_{season}(t) \times (1 - k_{degradation}(t)), \quad (2)$$

где E_{base} — базовая статичная емкость участка тропы i ;

$k_{weather}$ — коэффициент влияния погодных условий (вероятность эрозии при осадках), рассчитываемый на основе данных метеостанций;

k_{season} — коэффициент сезонной уязвимости (например, период гнездования птиц или цветения краснокнижных растений);

$k_{degradation}$ — индекс фактической деградации почвенного покрова, определяемый по мультиспектральным спутниковым снимкам (динамика NDVI) с применением алгоритмов машинного обучения.

Пилотное тестирование алгоритма, выполненное на основе данных национального парка «Куршская коса» за 2024 г., с использованием методологии агентного моделирования [14], показало, что при среднем статичном нормативе 3 чел./га динамическая модель позволяла увеличивать разрешенную нагрузку до 3,8 чел./га в дни с оптимальными погодными условиями и снижать ее до 1,5 чел./га в периоды весенней распутицы. Суммарный расчетный экономический эффект от увеличения пропускной способности в «высокий» сезон без ущерба для экосистемы составил 12–18 % потенциального дохода от платных услуг.

Рассмотрим экономический механизм кросс-индустриального партнерства. Для реализации финансового уровня экосистемы обоснован механизм выпуска цифровых прав на экосистемные сервисы (ЦПЭС) в рамках архитектуры экономических отно-

шений устойчивого территориально-отраслевого партнерства. Принципиальная схема функционирования, заложенная в основу пилотного программного продукта НИОКТР, опирается на ESG-инструментарий, проанализированный М. А. Измайловой [7]:

1) индустриальный партнер (например, металлургический комбинат) размещает на платформе заказ на компенсацию воздействия на биоразнообразие в регионе присутствия, руководствуясь корпоративной ESG-повесткой и требованиями углеродного регулирования;

2) система с использованием технологий ИИ автоматически подбирает пул проектов на близлежащих ООПТ (восстановление троп, биотехнические мероприятия), оптимизируя соотношение затрат и достигаемого экологического эффекта;

3) после перечисления средств и выполнения работ (подтвержденного верифицированными данными с уровнем 2), система генерирует ЦПЭС, то есть цифровой сертификат, запись о котором вносят в распределенный реестр;

4) данный сертификат принимают аудиторы нефинансовой отчетности как подтверждение вложений в сохранение природного капитала, что напрямую влияет на ESG-рейтинг компании и способствует реализации национальных целей развития.

Обсуждение

Полученные результаты требуют сопоставления с существующими научными и практическими разработками в области цифровых экосистем для природных территорий.

Сравнение с международными подходами

Разработанная модель DEEPA коррелирует с концепцией Digital Ecologies, активно развиваемой в западной научной литературе и исследующей медиацию отношений между человеком и нечеловеческими агентами через цифровые технологии [10]. В частности, использование данных ДЗЗ и имитационного моделирования соответствует опыту управления потоками в национальных парках США (Yosemite, Zion), при котором системы рекреационных разрешений привязаны к прогнозным моделям нагрузки [9]. Однако принципиальное отличие авторской модели, представленной в таблице 1, заключается в наличии встроенного экономического модуля (уровень 3), адаптированного

под специфику российского ESG-регулирования и корпоративной практики, что согласуется с выводами М. А. Измайловой о перспективах реализации ESG-повестки инструментами цифровой экономики [7].

Сопоставление с отечественными аналогами

В российской практике наиболее близким аналогом выступает проект «Цифровой двойник туристической территории», реализованный в ряде субъектов РФ. Однако, как пишут Д. М. Журавлев и С. А. Часовников, эти решения фокусируются преимущественно на маркетинговой и логистической составляющей (речь идет о построении маршрутов, загрузке гостиниц), не затрагивая глубинный слой экологического мониторинга и ESG-партнерства [17]. Авторская модель ДЕЕРА заполняет эту нишу, предлагая интеграцию слоя экологической верификации в экономический оборот, что соответствует научным основам формирования цифровых экосистем, раскрытым в работах О. И. Шаравовой [4].

Валидация предложенных принципов

Сформулированные принципы построения цифровой экосистемы прошли валидацию в процессе лабораторных испытаний прототипа программного комплекса, на первом этапе НИОКТР. Испытания подтвердили работоспособность базовых функций связи между элементами системы и соответствие прототипа требованиям технического задания. Определены области ограничений применения технологии, включая законодательные ограничения (отсутствие правового статуса экосистемных сервисов), рыночные ограничения (необходимость стандартизации ESG-отчетности [12]) и научно-технологические ограничения (потребность в накоплении длительных рядов наблюдений для калибровки ИИ-моделей, аналогичная опыту лесоклиматических проектов [11]).

Ограничения исследования

Предложенная модель имеет ряд ограничений. Во-первых, внедрение распределенного реестра для верификации экологических данных требует легитимизации на уровне отраслевых стандартов Минприроды России с учетом международного опыта регуляторных инноваций [16]. Во-вторых, расчет коэффициентов уязвимости ($k_{degradation}$) требует накопления длительных рядов наблюдений (не менее пяти-семи лет) для калибровки

моделей машинного обучения, что видится задачей последующих этапов НИОКТР. В-третьих, авторская гипотеза о готовности бизнеса к партнерству основана на анализе публичной отчетности [7] и требует дополнительной верификации на этапе опытно-промышленной эксплуатации.

Выводы

С учетом изложенного приходим к следующим результатам и выводам.

1. Научно обоснована несостоятельность статичных методов управления рекреационной нагрузкой в условиях цифровой экономики. Переход к динамическому нормированию на основе потоковых геоданных и агентного моделирования служит безальтернативным условием устойчивого развития ООПТ и соответствует приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития РФ.

2. Разработана и формализована трехуровневая концептуальная модель цифровой экосистемы ДЕЕРА. Уникальность модели заключается в сквозной интеграции слоев сбора экологических данных, их верификации на основе технологий ИИ и экономической монетизации через механизмы смарт-контрактов, что обеспечивает реализацию кросс-индустриального партнерства крупных промышленных предприятий и ООПТ.

3. Сформулировано пять базовых принципов построения доверенной цифровой экосистемы ООПТ, коррелирующих с перечнем критических технологий РФ (Указ Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529) и обеспечивающих объективную оценку климатически активных веществ в соответствии с подп. «з» Стратегии научно-технологического развития. Принципы опираются на теоретический фундамент платформенной экономики и учитывают институциональные ограничения.

4. Предложен алгоритм расчета динамической рекреационной емкости (DRE) с применением технологий ИИ, позволяющий в режиме реального времени корректировать допустимую антропогенную нагрузку. Экономический эффект от внедрения алгоритма оценен в 12–18 % прироста пропускной способности без увеличения экологических рисков.

Результаты исследования, полученные на первом этапе НИОКТР, могут быть использованы:

– Минприроды России — при разработке концепции цифровой трансформации отрасли и технического задания на модернизацию ИАС «ООПТ»;

– управляющими компаниями национальных парков — для внедрения систем мониторинга туристического потока и расчета платы за посещение с учетом реальной рекреационной емкости;

– корпоративным сектором — для верификации ESG-проектов в области сохране-

ния биоразнообразия и достижения целей устойчивого развития.

Развитие авторской концепции в рамках последующих этапов НИОКТР связано с:

1) разработкой детальной методики калибровки коэффициентов уязвимости (k) для различных типов природных зон РФ;

2) созданием и тестированием полнофункционального прототипа платформы ДЕЕРА на базе одного из национальных парков.

Список источников

1. Порфирьев Б. Н. Экономическое измерение климатического вызова устойчивому развитию России // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 4. С. 400–407. <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894400-407>
2. Чижова В. П. Рекреационные ландшафты: устойчивость, нормирование, управление. Смоленск: Ойкумена, 2011. 176 с.
3. Шаравова О. И. Научные основы, организационно-технологические источники и роль экосистем в формировании цифровой экономики // РИСК: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. 2025. № 1. С. 272–281. <https://doi.org/10.56584/1560-8816-2025-1-272-281>
4. Бобылев С. Н., Захаров В. М. Экосистемные услуги и экономика. М.: тип. «Левко», Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России, 2009. 72 с.
5. Тишков А. А. Биосферные функции природных экосистем России. М.: Наука, 2005. 309 с.
6. Costanza R., de Groot R., Sutton P. et al. Changes in the global value of ecosystem services // Global Environmental Change. 2014. Vol. 26. P. 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
7. Измайлова М. А. Реализация ESG-повестки инструментами цифровой экономики: состояние и перспективы развития // Ars Administrandi (Искусство управления). 2024. Т. 16. № 3. С. 413–435. <https://doi.org/10.17072/2218-9173-2024-3-413-435>
8. Калихман А. Д., Калихман Т. П. Оценка посетительских нагрузок и предельно допустимые нормы в Прибайкальском национальном парке // География и природные ресурсы. 2024. Т. 45. № 1. С. 164–177. <https://doi.org/10.15372/GIPR20240116>
9. Gretzel U., Werthner H., Koo C., Lamsfus C. Conceptual foundations for understanding smart tourism ecosystems // Computers in Human Behavior. 2015. Vol. 50. P. 558–563. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.03.043>
10. Digital ecologies: Mediating more-than-human worlds / eds. J. Turnbull, A. Searle, H. Anderson-Elliott, E. H. Giraud. Manchester: Manchester University Press, 2024. 296 p.
11. Птичников А. В., Шварц Е. А., Кузнецова Д. А. О потенциале поглощения парниковых газов лесами России для снижения углеродного следа экспорта отечественной продукции // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 499. № 2. С. 181–184. <https://doi.org/10.31857/S2686739721080120>
12. Яковлев И. А., Кабир Л. С. Механизм финансирования «зеленых» инвестиций как элемент национальной стратегии устойчивого развития // Финансовый журнал. 2018. № 3. С. 9–20. <https://doi.org/10.31107/2075-1990-2018-3-9-20>
13. Parker G. G., Van Alstyne M. W., Choudary S. P. Platform revolution: How networked markets are transforming the economy and how to make them work for you. New York, NY: W.W. Norton & Company, 2016. 336 p.
14. Wilensky U., Rand W. An introduction to agent-based modeling: Modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo. Cambridge, MA: The MIT Press, 2015. 504 p.
15. Lankhorst M. Enterprise architecture at work: Modelling, communication and analysis. 4th ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2017. 360 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53933-0>
16. Gunningham N., Holley C. Next-generation environmental regulation: Law, regulation, and governance // Annual Review of Law and Social Science. 2016. Vol. 12. P. 273–293. <https://doi.org/10.1146/annurev-lawsocsci-110615-084651>
17. Журавлев Д. М. Стратегирование цифровой трансформации сложных социально-экономических систем: монография. М.; СПб.: Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, 2024. 354 с. <https://doi.org/10.55959/978-5-89781-862-4>

References

1. Porfirev B.N. Economic dimension of the climate challenge to Russia's sustainable development. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2019;89(2):134-139. <https://doi.org/10.1134/S1019331619020187> (In Russ.: Vestnik Rossiiskoi akademii nauk. 2019;89(4):400-407. <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894400-407>).
2. Chizhova V.P. Recreational landscapes: Sustainability, regulation, management. Smolensk: Oikumena; 2011. 176 p. (In Russ.).
3. Sharavova O.I. Scientific foundations, organizational and technological sources, and the role of ecosystems in shaping the digital economy. *RISK: resursy, informatsiya, snabzhenie, konkurentsia* = *RISK: Resources, Information, Supply, Competition*. 2025;(1):272-281. (In Russ.). <https://doi.org/10.56584/1560-8816-2025-1-272-281>
4. Bobylev S.N., Zakharov V.M. Ecosystem services and the economy. Moscow: Institute for Sustainable Development/Center for Environmental Policy of Russia; 2009. 72 p. (In Russ.).
5. Tishkov A.A. Biosphere functions of natural ecosystems of Russia. Moscow: Nauka; 2005. 309 p. (In Russ.).
6. Costanza R., de Groot R., Sutton P., et al. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*. 2014;26:152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
7. Izmailova M.A. Implementation of ESG agenda using digital economy tools: Status and development prospects. *Ars Administrandi (Iskusstvo upravleniya) = Ars Administrandi (The Art of Management)*. 2024;16(3):413-435. (In Russ.). <https://doi.org/10.17072/2218-9173-2024-3-413-435>
8. Kalikhman A.D., Kalikhman T.P. Assessment of visitor loads and maximum permissible standards in Pribaikalsky national park. *Geografiya i prirodnye resursy = Geography and Natural Resources*. 2024;45(1):164-177. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/GIPR20240116>
9. Gretzel U., Werthner H., Koo C., Lamsfus C. Conceptual foundations for understanding smart tourism ecosystems. *Computers in Human Behavior*. 2015;50:558-563. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.03.043>
10. Turnbull J., Searle A., Anderson-Elliott H., Giraud E.H., eds. Digital ecologies: Mediating more-than-human worlds. Manchester: Manchester University Press; 2024. 296 p.
11. Ptichnikov A.V., Shvarts E.A., Kuznetsova D.A. The greenhouse gas absorption potential of Russian forests and possibilities for carbon footprint reduction for exported domestic products. *Doklady Earth Sciences*. 2021;499(2):683-685. <https://doi.org/10.1134/S1028334X21080122> (In Russ.: Doklady Rossiiskoi akademii nauk. Nauki o Zemle. 2021;499(2):181-184. <https://doi.org/10.31857/S2686739721080120>).
12. Yakovlev I.A., Kabir L.S. Green investment financing mechanism as an element of the national strategy for sustainable development financing. *Finansovyi zhurnal = Financial Journal*. 2018;(3):9-20. (In Russ.). <https://doi.org/10.31107/2075-1990-2018-3-9-20>
13. Parker G.G., Van Alstyne M.W., Choudary S.P. Platform revolution: How networked markets are transforming the economy and how to make them work for you. New York, NY: W.W. Norton & Company; 2016. 336 p.
14. Wilensky U., Rand W. An introduction to agent-based modeling: Modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo. Cambridge, MA: The MIT Press; 2015. 504 p.
15. Lankhorst M. Enterprise architecture at work: Modelling, communication and analysis. 4th ed. Berlin, Heidelberg: Springer; 2017. 360 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53933-0>
16. Gunningham N., Holley C. Next-generation environmental regulation: Law, regulation, and governance. *Annual Review of Law and Social Science*. 2016;12:273-293. <https://doi.org/10.1146/annurev-lawsocsci-110615-084651>
17. Zhuravlev D.M. Strategizing the digital transformation of complex socio-economic systems. Moscow, St. Petersburg: RANEPa; 2024. 354 p. (In Russ.). <https://doi.org/10.55959/978-5-89781-862-4>

Информация об авторах

Роман Робертович Гареев

кандидат экономических наук, доцент,
заведующий кафедрой гостиничного
и туристического менеджмента

Российский экономический университет
имени Г. В. Плеханова

Information about the authors

Roman R. Gareev

PhD in Economics, Associate Professor,
Head of the Department of Hotel and Tourism
Management

Plekhanov Russian University of Economics

117997, Москва, Стремянный пер., д. 36
SPIN-код: 9931-3815
AuthorID: 712763

Анна Игоревна Кошелева

кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры гостиничного и туристического
менеджмента

Российский экономический университет
имени Г. В. Плеханова

117997, Москва, Стремянный пер., д. 36
SPIN-код: 2084-5349
AuthorID: 652058

Осман Мурадович Халов

ассистент кафедры гостиничного
и туристического менеджмента

Российский экономический университет
имени Г. В. Плеханова

117997, Москва, Стремянный пер., д. 36
WoS: KIC-7604-2024
AuthorID: 59047011200
SPIN-код: 6982-9706

Поступила в редакцию 23.04.2026
Прошла рецензирование 28.05.2026
Подписана в печать 29.06.2026

36 Stremyanny Ln., Moscow 117997, Russia
SPIN: 9931-3815
AuthorID: 712763

Anna I. Kosheleva

PhD in Economics, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Hotel
and Tourism Management

Plekhanov Russian University of Economics

36 Stremyanny Ln., Moscow 117997, Russia
SPIN: 2084-5349
AuthorID: 652058

Osman M. Khalov

assistant at the Department of Hotel and Tourism
Management

Plekhanov Russian University of Economics

36 Stremyanny Ln., Moscow 117997, Russia
WoS: KIC-7604-2024
AuthorID: 59047011200
SPIN: 6982-9706

Received 23.04.2026
Revised 28.05.2026
Accepted 29.06.2026

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие конфликта интересов,
связанных с публикацией данной статьи.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest
related to the publication of this article.