

# Стратегии зеленой экономики в Китае

**Алина Стеблянская**

Доцент, Школа экономики и менеджмента, [alina\\_steblyanskaya@hrbeu.edu.cn](mailto:alina_steblyanskaya@hrbeu.edu.cn)

**Ай Мингйе\***

Доцент, [aimingye@hrbeu.edu.cn](mailto:aimingye@hrbeu.edu.cn)

Школа экономики и менеджмента (School of Economics and Management), Харбинский инженерный университет (Harbin Engineering University), Китай, Nangang district, Nantongdajie 145, Harbin, Heilongjiang, 150001, China

**Владимир Бочарников**

Профессор, Лаборатория экологии и охраны животных, [vbocharnikov@mail.ru](mailto:vbocharnikov@mail.ru)

Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения РАН, 690041, Владивосток, ул. Радио, 7

**Артем Денисов**

Доцент, кафедра информатики и вычислительной техники, [iptema@yandex.ru](mailto:iptema@yandex.ru)

Костромской государственный университет, 156005, Кострома, ул. Дзержинского, 17

## Аннотация

**П**ереход к зеленой экономике — сложная стратегическая задача, требующая сочетания двух не сочетавшихся прежде векторов развития: поддержания динамичного экономического роста и сохранения природной среды на долгосрочной основе. Подобный уровень сложности пока не удалось освоить ни одной стране, тем не менее продолжается активный поиск новой сбалансированной модели с выработкой соответствующих стратегий. Китай — в числе стран, движущихся в этом направлении.

В статье анализируется влияние социальных, экономических и экологических факторов на перспективы развития зеленой экономики и сохранность природных территорий Китая. Исследуется динамика изменения экологической ситуации с 1970 по 2018 г. Предложена авторская методика оценки состояния окружающей среды в зависимости от демографической динамики,

экономических показателей и уровня технологического развития.

На протяжении последних 50 лет Китай переживает интенсивное промышленное развитие, в результате которого в большинстве регионов нарастает деградация ценных природных активов. В то же время в ряде провинций прилагаются усилия по исправлению ситуации путем выработки новой политики, первые результаты которой уже проявились. Государство формирует экологическое законодательство, призванное масштабировать зеленые практики регионов-первопроходцев на всю страну, включая тренд на деурбанизацию отдельных мегаполисов и др. Реализации стратегии будут способствовать расширение междисциплинарных научных исследований, разработка комплексных технологических решений и программ развития, учитывающих разнообразные факторы.

**Ключевые слова:** зеленая экономика; инновационные стратегии; устойчивость; природные территории в Китае; уравнение Кайи; коэффициент природных территорий; коэффициент охраняемых природных территорий

**Цитирование:** Steblyanskaya A., Ai M, Bocharnikov V., Denisov A. (2021) Strategies for Green Economy in China. *Foresight and STI Governance*, 15(1), 74–85. DOI: 10.17323/2500-2597.2021.1.74.85

\* автор-корреспондент

# Strategies for Green Economy in China

**Alina Steblyanskaya**

Associate Professor, [alina\\_steblyanskaya@hrbeu.edu.cn](mailto:alina_steblyanskaya@hrbeu.edu.cn)

**Ai Mingye\***

Associate Professor, [aimingye@hrbeu.edu.cn](mailto:aimingye@hrbeu.edu.cn)

School of Economics and Management, Harbin Engineering University, Nangang district, Nantongdajie 145, Harbin, Heilongjiang, 150001, China

**Vladimir Bocharnikov**

Professor, Wildlife Ecology and Conservation Laboratory, [vbocharnikov@mail.ru](mailto:vbocharnikov@mail.ru)

Pacific Geographical Institute, Far East Branch of the Russian Academy of Science, 7, Radio str., Vladivostok 690041, Russian Federation

**Artem Denisov**

Associate Professor, Department of Computer Science, [iptema@yandex.ru](mailto:iptema@yandex.ru)

Kostroma State University, 17 Dzerzhinskogo str., Kostroma 156005, Russian Federation

## Abstract

The transition to a “green” economic model is a complex strategic task that requires a combination of two previously incompatible development vectors: maintaining dynamic economic growth and preserving the natural environment on a long-term basis. No country has yet been able to cope with such complexity, nevertheless, an active search for a new balanced model continues, with the development of appropriate strategies. China is among the countries moving in this direction.

The article analyzes the influence of social, economic, and environmental factors on the prospects for the development of a green economy and the preservation of natural areas in China. The dynamics of changes in the ecological situation from 1970 to 2018 is investigated. The authors propose a methodology for assessing the state of the environment based on demographic dynamics,

economic indicators, and the level of technological development.

Over the past 50 years, China has experienced intensive industrial development, as a result of which the degradation of valuable natural assets is increasing in most regions. At the same time, efforts are being made in a number of provinces to remedy the situation through the formulation of new policies, the first results of which have been already visible. The government has established a new environmental legislation designed to scale the green practices of the pioneering regions throughout the country, including the trend toward the deurbanization of individual megacities and others. The implementation of this strategy will be facilitated by the expansion of interdisciplinary scientific research, the development of complex technological solutions, and development programs that simultaneously take into account various factors.

**Keywords:** green economy; innovation strategies; sustainability; China wilderness areas; Kaya equation; wilderness area ratio (RWA); protected wilderness area ratio (PWA)

**Citation:** Steblyanskaya A., Ai M., Bocharnikov V., Denisov A. (2021) Strategies for Green Economy in China. *Foresight and STI Governance*, 15(1), 74–85. DOI: 10.17323/2500-2597.2021.1.74.85

\* corresponding author

Возникающая модель зеленой экономики позволяет наращивать экономический потенциал без нанесения ущерба экологии [Costanza, 1989; Daly, 2007]. Ее базовые принципы начали разрабатываться на рубеже XIX–XX вв. Гуго Вильгельмом Конвенцем (Hugo Wilhelm Conwentz) и Иваном Бородиным [Williams, 1996]. Мейнстримные исследования в этом направлении фокусируются на проблемах, обозначенных Римским клубом в 1972 г. [Meadows et al., 1972; Hall et al., 2014]. Предстоит найти модель развития, способную устранить дисбаланс между человеческой деятельностью и естественной продуктивностью природных экосистем, защиту которых ООН относит к ключевым задачам природоохранной деятельности<sup>1</sup>. Современные экономические стратегии большинства стран и компаний пока слабо связаны с идеями устойчивого развития [Ward et al., 2016].

В последние годы в Китае решение природоохранных проблем входит в состав приоритетов государства, которое разработало комплекс законодательных, политических, регулирующих и экономических инициатив. Так, в 12-м пятилетнем плане предусмотрены меры по ужесточению режимов охраны природных территорий и оптимизации энерго- и водосбережения [Tang et al., 2018]. Однако поиск баланса между консервацией природных территорий, энергоэффективностью и экономическим ростом — непростая задача [Xi, 2020]. Государственная политика Китая нацелена на достижение высоких темпов экономического роста, несмотря на ощутимые издержки в терминах устойчивой энергетики и охраны окружающей среды. Страна стоит перед дилеммой модернизации экономики, энергетической системы и обеспечения экологической безопасности [Tang et al., 2015]. Исходя из сложившегося контекста и потребностей органов власти разных уровней в инструментах экологической политики, реализуется широкий спектр исследовательских проектов, включая природоохранные. Как государство с непростой экологической ситуацией Китай нуждается в новых моделях оценки влияния экономического роста на сохранность природных территорий (ПТ) [Bocharnikov, 2019]. Главная проблема национальной инвентаризации таких зон заключается в отсутствии расширенной статистической информации [Frelich, Reich, 2009; Kuiters et al., 2013]. Существующих охраняемых территорий и инициатив, предусмотренных пунктом 11 программы Айчи (Aichi Target 11) в рамках специальной конвенции ООН, недостаточно для замедления тенденций к снижению биоразнообразия [Cao et al., 2019]. Предстоит утвердить целевые мероприятия и продолжить системное развитие охраняемых природных территорий (ОПТ) [Mittermeier et al., 2003].

В эпоху «шестого вымирания» и антропоцена защита подобных территорий приобретает все большее значение [Sandbrook, 2015]. Несмотря на высокую ценность,

полная их инвентаризация в Китае пока не проведена [Cao et al., 2019]. Не существует и общепринятого определения концепции дикой природы (*wilderness*) [Nash, 2014]. Ряд исследователей связывают экономический рост и расширение городов с деградацией земель и пытаются найти пути зеленой урбанизации [Shi et al., 2016]. Например, в Португалии с использованием специальных показателей оценены разнообразие, редкость и уязвимость видов в Национальном парке Пенеда-Жереш [Seauçu et al., 2015]. В одной из наших предыдущих работ [Стеблянская и др., 2019] показаны возможности обеспечения финансового роста крупных компаний с учетом факторов энергетической, социальной и экологической устойчивости, способные произвести положительный природоохранный эффект. На достижение этой цели, в частности, направлена концепция биофизической экономики (*biophysical economics*) [Cleveland et al., 1984; Palmer, 2018], предполагающая долгосрочную интеграцию природоохранной деятельности с другими «зелеными» инвестициями [Costanza et al., 2014, 2017].

В ряде стран реализуются программы по развитию зеленой экономики, минимизации экономического и социального воздействия на природу. В США ценность заповедных зон рассматривается в экономическом, экологическом и культурном измерениях [Proctor, 2021]. Национальная федерация дикой природы США (US National Wildlife Federation) добилась принятия правовых норм, поддерживающих «североамериканскую модель сохранения дикой природы» (North American Wildlife Conservation Model). Закон «О федеральной помощи в восстановлении дикой природы» (Federal Wildlife Restoration Assistance Act), вступивший в действие в 1937 г., позволил восстановить десятки видов животных. В последние десятилетия активизировалось сетевое кооперационное взаимодействие в сфере охраны природы с участием многочисленных игроков. Соответствующий закон (Wildlife Act) от 1964 г. установил принципы, которые до сих пор используются в государственной охране земель в США. С 2009 г. Министерство сельского хозяйства (US Department of Agriculture, USDA) предоставило более 200 грантов на природоохранные инновации для поиска новых решений по сохранению охраняемых зон в условиях быстро растущей экономики<sup>2</sup>.

В Канаде природоохранная деятельность осуществляется дискретно, в привязке к периодам активизации экологических настроений в обществе [Locke, 2009]. В качестве механизма защиты заповедных территорий в Канадской Арктике предусмотрено оформление прав собственности на землю [Sahanatien, 2007]. Утвержден национальный план по борьбе с изменениями климата, обеспечению зеленого роста и сохранению природных ресурсов<sup>3</sup>.

Германия в последние десятилетия активно разрабатывает амбициозную экологическую политику на на-

<sup>1</sup> Подробнее см. Конвенцию о сохранении биоразнообразия ООН (U.N. Convention on Biological Diversity). <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>, дата обращения 18.12.2020.

<sup>2</sup> <https://www.usda.gov/topics/conservation>, дата обращения 29.01.2021.

<sup>3</sup> <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/news/2019/06/canadas-plan-for-climate-change-and-clean-growth.html>, дата обращения 29.01.2021.

циональном и международном уровнях. В 2002 г. принята Национальная стратегия устойчивого развития (National Sustainable Development Strategy). Реализованы масштабные комплексные инициативы в области биоразнообразия, изменения климата и др., способствовавшие значительному повышению энергетической и ресурсной эффективности германской экономики.

Объединенные Арабские Эмираты в свою очередь лидируют среди стран Персидского залива в применении чистых технологий и альтернативных источников энергии [Vaghefi et al., 2015].

Долгосрочная программа «Великая зеленая стена» (Great Green Wall) в Африке рассматривается как инструмент озеленения пустынь за счет посадки широкой непрерывной полосы деревьев от Сенегала до Джибути. Комплексный подход к крупномасштабному восстановлению земель при активном вовлечении местных общин в период с 2015 по 2017 г. позволил озеленить примерно 12 тыс. га деградированных земель. Ожидается, что реализация проекта существенно расширит ландшафтное многообразие и повысит качество жизни [Connor, Ford, 2014].

В статье проанализировано влияние экономических, социальных и экологических показателей на возможности сохранения ПТ Китая. Рассчитаны коэффициенты для «обычных» (*ratio of wilderness area, RWA*) и охраняемых природных территорий (*ratio of protected wilderness area, PWA*), а также соотношение их площади с численностью населения (*ratio wilderness area/population, WAP*) для каждой китайской провинции. На этой основе разработана модель для прогнозирования состояния ПТ до 2030 г. Полученные результаты могут быть полезными для формирования стратегий управления, позволяющих обеспечить устойчивый экономический рост при сохранении природно-ресурсного потенциала.

Базой для расчетов послужила формула оценки ПТ на основе логики уравнения Кайи, элементы которого анализировались методом главных компонент (*principal component analysis, PCA*) и сезонной авторегрессионной интегрированной модели скользящего среднего (*Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average, SARIMA*). В некоторых исследованиях эти методы используются для анализа факторов, влияющих на экологическое состояние [Kosman et al., 2019; Palmer, 2018; Rasker, 2006; Wuerthner, 2018], но лишь немногие работы опираются на варианты тождества Кайи. Таким образом, для целей нашего исследования на основе логики уравнения Кайи создана формула, позволяющая анализировать компоненты, влияющие на сохранность ПТ в Китае. Представленные методы и результаты будут полезны для изучения влияния социально-экономических факторов на природу не только Китая, но и других стран.

## Методология

### Данные

Источники данных для исследования описаны в табл. 1, включая сведения о землепользовании, протяженности железных и автомобильных дорог, плотности населения и инвестициях в охрану окружающей среды, относящиеся к материковому Китаю. Экономическая и социальная статистика получена из китайских статистических справочников за период 1970–2018 гг. Для получения информации об окружающей среде дополнительно использовалась база данных EPS<sup>4</sup>. Показатели RWA/PWA/WAP рассчитаны по методологии, представленной в работах [Baklanov et al., 2018; Bocharnikov, Huettman, 2019]. Прогнозы развития тенденций построены с помощью SARIMA. Для моделирования применялся Python 3.4.<sup>5</sup>

### Тождество Кайи для оценки консервации природных территорий

В основу наших расчетов положена формула, разработанная Йоичи Кайей (Yoichi Kaya). Она представляет вариант уравнения  $I = PAT$ , которое увязывает воздействие человека на окружающую среду ( $I$ ) с произведением численности населения ( $P$ ), материальных благ ( $A$ ) и технологий ( $T$ ) [Kaya, Yokoburi, 1997]. Тождество Кайи позволяет оценить динамику выбросов  $CO_2$  и определяющие ее факторы [Lester, Finan, 2009]. Рост ВВП оценивается в расчете на душу населения, прирост которого связывается с объемом выбросов [Palmer, 2018]. Совокупный объем эмиссии  $CO_2$  является произведением численности населения, подушевого ВВП, энергоемкости и углеродоемкости:

$$F = P \times G/P \times E/G \times F/E, \quad (1)$$

где:

$F$  — объем выбросов  $CO_2$  из антропогенных источников;

$P$  — численность населения;

$G$  — ВВП;

$E$  — объем потребленной энергии.

Таким образом, с помощью уравнения Кайи можно рассчитать  $G/P$  = ВВП на душу населения,  $E/G$  = энергоемкость ВВП,  $F/E$  = углеродоемкость энергообеспечения.

В настоящем исследовании использовалась та же логика, и на основе тождества Кайи построено уравнение для оценки ОПТ (далее — PWA):

$$PWA = PWA/WA \times WA/LA \times LA/(RL+HL) \times (RL+HL)/GDP \times GDP/EC \times EC/WW \times WW/TIEPC \times TIEPC/P \times P, \quad (2)$$

где:

$WA$  — природная территория;

$PWA$  — охраняемая природная территория;

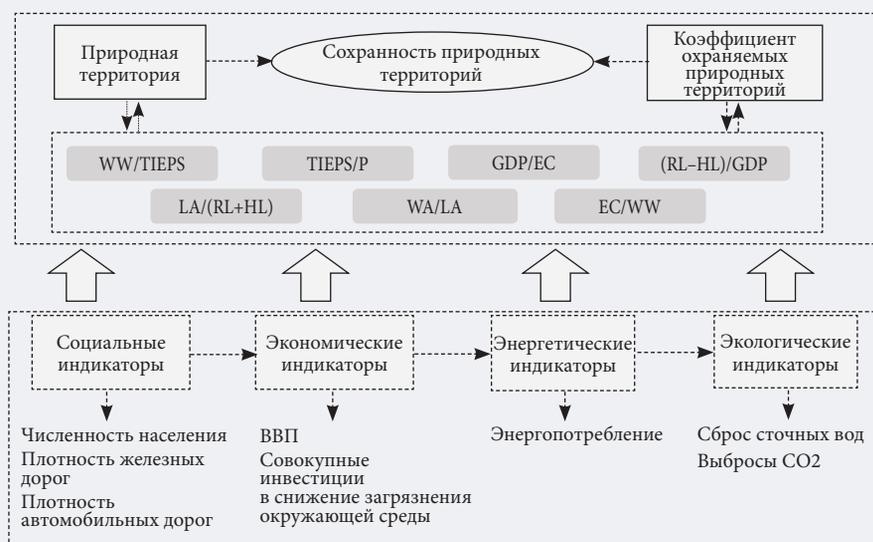
$LA$  — площадь территории;

$RL$  — протяженность железных дорог;

<sup>4</sup> <http://olap.epsnet.com.cn>, дата обращения 29.01.2021.

<sup>5</sup> Код Python написан специально для расчетов; документация доступна на сайте GitHub по адресу: [https://github.com/rufimich/enviromental\\_paper](https://github.com/rufimich/enviromental_paper), дата обращения 29.01.2021.

Рис. 1. Методологическая схема исследования



Источник: составлено авторами.

HL — протяженность автомобильных дорог;  
 GDP — ВВП;  
 EC — энергопотребление;  
 WW — совокупный объем сброса сточных вод;  
 TIEPC — совокупные инвестиции в снижение загрязнения окружающей среды;  
 P — численность населения.

Коэффициенты природных территорий (RWA), охраняемых природных территорий (PWA) и площадь охраняемых природных территорий (кв. км), деленные на численность населения (млн чел.) (WAP) (формулы 3–5), рассчитывались по методологии В. Бочарникова [Bocharnikov, Huettman, 2019; Baklanov et al., 2018]:

$$RWA = WA / LA, \tag{3}$$

где WA — площадь ПТ (кв. км), LA — площадь территории (Китая) (кв. км).

$$PWA = PWA / WA, \tag{4}$$

где PWA — площадь охраняемых природных территорий (кв. км), WA — площадь природных территорий (кв. км)

$$WAP = WA / P, \tag{5}$$

где WAP — площадь охраняемых природных территорий (кв. км), P — численность населения (млн чел.).

Методологическая схема исследования представлена на рис. 1.

Для оценки сохранности ПТ предлагаются три индекса — RWA, PWA, WAP. Подробные сведения об индикаторах приведены в табл. 1.

Мы исходили из того, что сохранность ПТ в китайских провинциях определяется рядом взаимно независимых тенденций, каждая из которых меняется в своем собственном пространстве, состоящем из одного измерения или более (компонент-векторов). Ввиду независимости тенденций их пространственная «ортогональность» в отношении друг друга равна нулю.

Для корректировки искажения значений индикаторов из-за эффекта масштаба выполнялась нормализация с применением метода редукции стандартного нормального распределения [Zimmerman, 2003]:

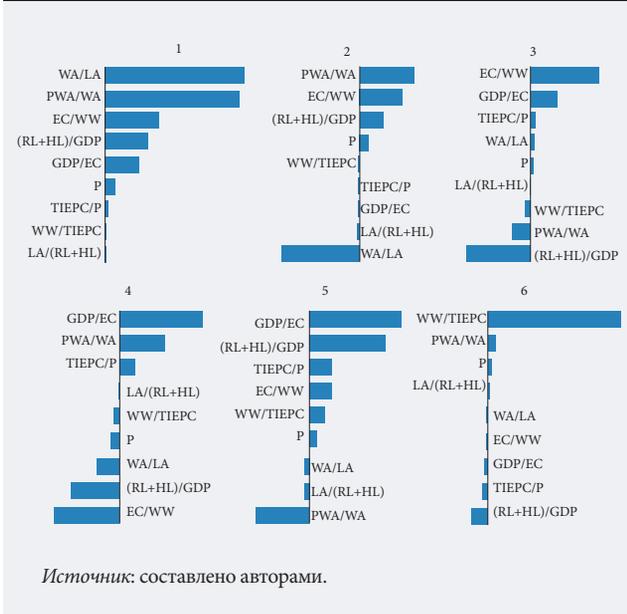
$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}, \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p, \tag{6}$$

Табл. 1. Список индикаторов исследования

Индикатор	Код	Единица измерения
<b>Социальный</b>		
Численность населения	P	млрд
Протяженность железных дорог	RL	км
Протяженность автомобильных дорог	HL	км
<b>Экономический</b>		
ВВП	GDP	млрд
Совокупные инвестиции в снижение загрязнения окружающей среды	TIEPC	млрд
<b>Энергетический</b>		
Энергопотребление (10 тыс. ед. условного угля)	EC	га/численность населения
<b>Экологический</b>		
Площадь территории	LA	тыс. га
Площадь природных территорий	WPA	тыс. га
Коэффициент природных территорий	RWA	%
Площадь охраняемых природных территорий (1000 кв. км)	PWA_SQ	тыс. га
Коэффициент охраняемых природных территорий	RPWA	%
Отношение площади природных территорий и численности населения	RWP	%
Сброс сточных вод	WW	тыс. куб. м

Источник: составлено авторами.

**Рис. 2. Анализ компонент тождества Кайи для природных территорий**



Источник: составлено авторами.

где:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n}, \sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1}} \quad (7)$$

Выявленные тенденции, определяющие сохранность ПТ в китайских провинциях в период 1970–2018 гг., анализировались методом РСА. Он основан на вращении осей в многомерном пространстве для поиска их оптимального расположения и предполагает линейное сжатие этого измерения (рис. 2) [Features, 2011].

Расположение оси считается оптимальным, если позволяет описать максимальное разнообразие данных:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij} - a_{0j} - \sum_{q=1}^p a_{jq} \sum_{q=1}^m (x_{iq} - a_{0q}))^2 \rightarrow \min, \quad (8)$$

где:

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  — массив объектов (совокупность всех точек в многомерном пространстве);

$k$  — количество параметров, описывающих каждый из объектов;

$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  — центр распределения точек в многомерном пространстве;

$a_1, \dots, a_m$  — набор ортогональных векторов, определяющих оси выбранных компонент.

Алгоритм извлечения компонент РСА:

- 1) центр распределения точек массива определяется как  $a_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ;
- 2) Направление первого ортогонального вектора  $a_1$  (первая главная компонента) определяется на основе заданной оптимизационной функции;
- 3) из этих точек вычитается проекция на первую главную компоненту;
- 4)  $x_i' = x_i - a_0 - a_1(a_1, x_i)$ ;
- 5) затем оценивается дисперсия данных, оставшаяся после введения новой компоненты:

$$D_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^p (x_{il})^2.$$

6) если оставшаяся дисперсия  $D_1$  велика, вводится вторая главная компонента и т. д., пока дисперсия не уменьшится до пределов приемлемой ошибки.

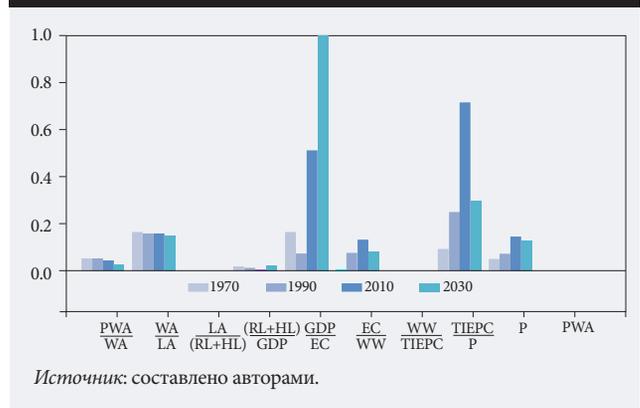
Метод РСА можно использовать для оценки будущей ситуации с сохранностью ПТ в китайских провинциях. В качестве примера приведены расчеты для провинций Пекин, Тибет и Шаньдун. Данная структура не является уникальной и применима для любого региона или для других целей. За анализом состояния ОПТ в провинциях следовала декомпозиция с использованием различных тождеств. Можно выбирать индикаторы для картирования любых компонент сохранности ПТ (формула 3).

### Результаты

С помощью модифицированной формулы Кайи оценивалось состояние сохранности ПТ в 31 китайской провинции. Сфокусируемся на трех наиболее «показательных» провинциях (аналогичная ситуация наблюдается на большей части страны). Выбранные территории отличаются репрезентативностью: максимальная площадь ПТ выявлена в Тибете, наименьшая — в Шаньдуне. Пекин характеризуется высокой плотностью населения и малой площадью ПТ, но высоким уровнем природоохранной деятельности. Для каждой изучаемой территории подготовлен прогноз до 2030 г. на основе многофакторного сценария (рис. 3–5).

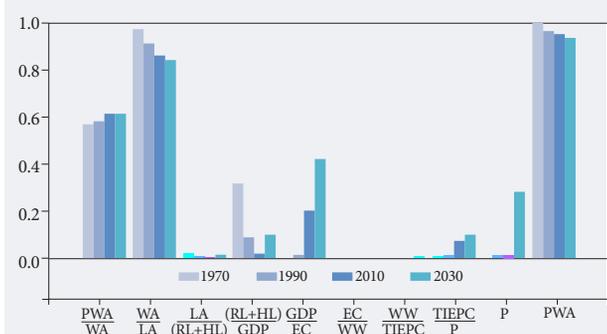
Как оказалось, соотношение GDP/EC в Пекине резко выросло, т. е. за последние 40 лет энергоэффективность значительно повысилась, включая и соотношение ТПЕРС/Р, возможно, вследствие сложной экологической ситуации (см. рис. 3). Соотношение WA/LA в Пекине не меняется с 1978 г. В течение последних 30 лет власти создают новые ОПТ, однако приток населения увеличивается в основном за счет приезжих (они составляют 37.9% постоянных жителей провинции), что вынуждает столицу к дальнейшему освоению земель. Аналогичная картина наблюдается и в других крупных городах, например в Шанхае. Однако администрация Пекина ставит задачу добиться отрицательного роста городского строительства (антиурбанизация) к 2035 г. В частности,

**Рис. 3. Анализ ситуации в Пекине в 1978–2018 гг.**



Источник: составлено авторами.

Рис. 4. Анализ ситуации в Тибете в 1978–2018 гг.

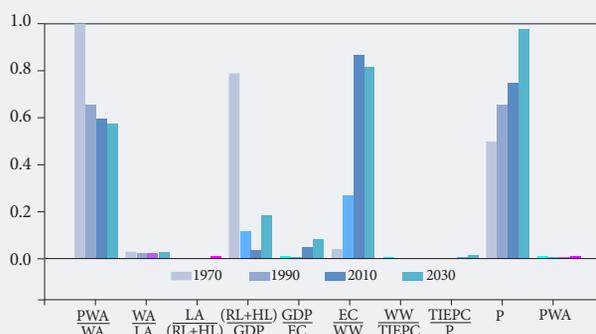


Источник: составлено авторами.

запланировано сократить площадь застроенных земель с нынешних примерно 2860 кв. км до 2760 к 2030 г. Резко выросшее соотношение GDP/EC иллюстрирует уменьшение зависимости экономической динамики мегаполиса от энергопотребления.

В Тибете соотношения WA/LA PWA и PWA/WA оставались неизменными с 1978 по 2018 г., тогда как показатели EC/WW и GDP/EC увеличились (см. рис. 4). Здесь располагаются 47 охраняемых территорий общей площадью 41.4 млн кв. км. Тибет — вторая по площади провинция, расположенная высоко в горах, что затрудняет ее транспортное сообщение с остальной страной. Численность жителей региона остается стабильно низкой вследствие невысоких уровней рождаемости, смертности и быстрого оттока населения. Результат — заметно повышенное соотношение WA/LA и PWA. За последние 40 лет энергоэффективность выросла незначительно. Китайское правительство возводит экологический барьер на границе Цинхай-Тибетского нагорья в виде масштабных лесопосадок. Это обусловило существенный рост площадей ПТ в Тибете и Цинхае. К 2030 г. ожидается значительное увеличение численности населения благодаря открытию железной дороги Цинхай–Тибет. Транспортное сообщение в Цинхае и Тибете улучшилось, промышленное и экономическое развитие, а также городское строительство активизи-

Рис. 5. Анализ ситуации в Шаньдуне в 1978–2018 гг.



Источник: составлено авторами.

ровались, что способствует удержанию местного населения и притоку приезжих. Следствием подобных тенденций, включая растущий спрос на жилье и продукты питания, видится сокращение к 2030 г. площадей ОПТ.

В Шаньдуне соотношение EC/WW стремительно возрастало из-за низкого уровня инвестиций (ТИЕРС/Р) (см. рис. 5). Показатель PWA/WA долгое время оставался неизменным. Однако соотношение (R+HL)/GDP выросло — возможно, потому, что в экономике провинции перестала доминировать единственная отрасль. В Шаньдуне, несмотря на колоссальный рост населения, сохраняются 86 ОПТ, площадь которых составляет 1.1 млн кв. км. Более того, Шаньдун (как и Хэбэй и Хэнань) расположен на равнине Хуан-Хуай-Хай, где преобладает сельское хозяйство и площади пахотных земель достаточно обширны.

### Результаты PCA

Каждая провинция оценивалась с помощью метода анализа главных компонент на основе модифицированного тождества Кайи (табл. 2, рис. 6–10).

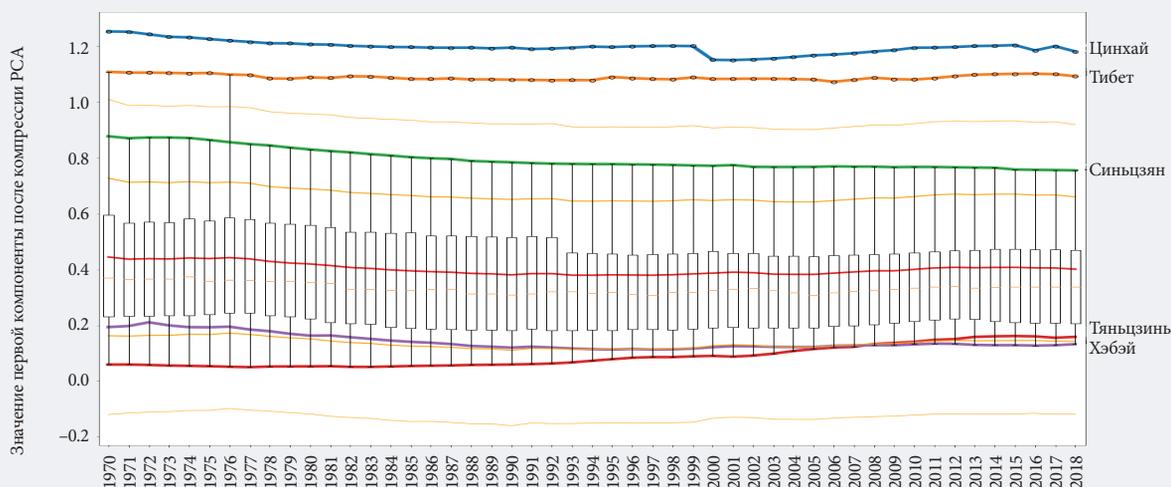
Наиболее высокие значения *первой компоненты* (вариабельность 33%) выявлены в Тибете (47 ОПТ, 41.4 млн кв. км), Цинхае (11 ОПТ, 21.8 млн кв. км), Синьцзяне (27 ОПТ, 21.5 млн кв. км) и Сычуани, где имеются 167 природных зон площадью примерно

Табл. 2. Анализ компонент тождества Кайи для природных территорий

Показатели	1	2	3	4	5	6
PWA/WA	0.648626	0.506946	-0.187239	0.343734	-0.406296	0.037251
WA/LA	0.663000	-0.725034	0.051394	-0.175843	-0.019821	-0.009151
LA/(RL+HL)	0.014633	-0.011236	0.003877	-0.008797	-0.035328	0.008868
(RL+HL)/GDP	0.206144	0.219079	-0.647432	-0.381764	0.568404	-0.128007
GDP/EC	0.164741	-0.007912	0.262397	0.648581	0.659313	-0.028756
EC/WW	0.257215	0.400941	0.683103	-0.513748	0.169738	-0.009462
WW/ТИЕРС	0.015156	0.004186	-0.060457	-0.043689	0.116060	0.989485
ТИЕРС/Р	0.017780	-0.007498	0.054383	0.119379	0.174957	-0.041277
Р	0.056218	0.091213	0.031995	-0.065965	0.051136	0.019061

Источник: составлено авторами.

Рис. 6. Динамика значений первой компоненты после компрессии PCA



Источник: составлено авторами.

9 млн кв. км. Минимальные показатели наблюдаются в Пекине (20 ОПТ, 133 966 кв. км) и Хэбэе (35 ОПТ, 587 268 кв. км), ввиду увеличения численности населения (см. рис. 6). При этом ведущие отрасли промышленности Хэбэя, такие как угольная, стальная и текстильная, требуют существенных земельных ресурсов.

Касательно *второй компоненты* (вариабельность 25%) имеются, с одной стороны, территории с большими площадями, такие как Синьцзян, с другой — провинции с высокой долей ОПТ и низким уровнем выбросов на единицу потребляемой энергии, например Шаньдун (см. рис. 7). Эта компонента позволяет ранжировать провинции по активности охраны окружающей среды: от Синьцзяна и Внутренней Монголии до Шаньдуна. Практически во всех провинциях выявлена растущая положительная тенденция, особенно в Сычуани.

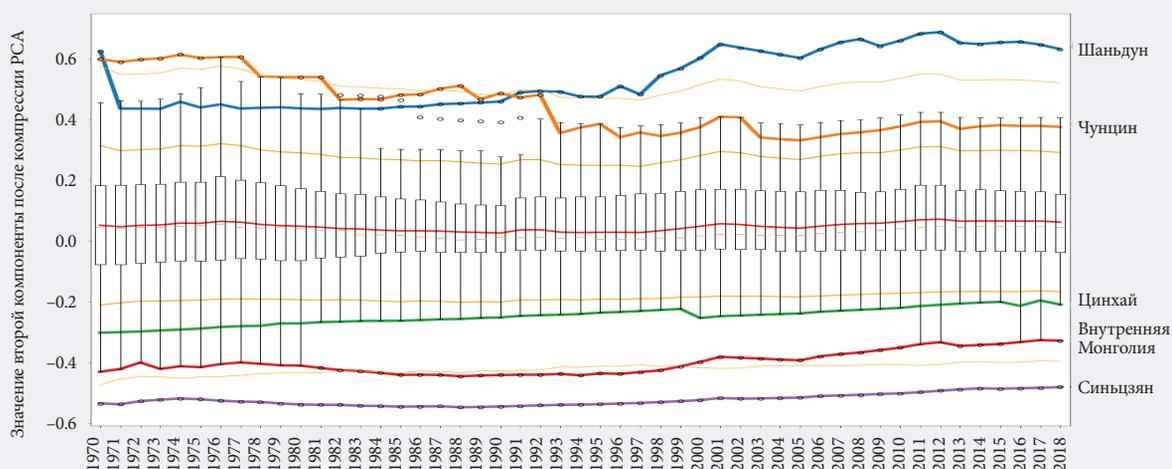
В случае *третьей компоненты* (вариабельность 17%), несмотря на различия между провинциями, про-

слеживается общая тенденция их развития, связанная с двумя коррелированными факторами — значениями ВВП на километр дорог (см. рис. 8). В формуле это представлено в обратном виде: количество дорог на единицу ВВП и объем энергии, потребляемой на единицу энергопотока. Оба показателя увеличиваются во всех провинциях. В большей степени это заметно в Гуандуне, в меньшей — в Юньнани.

*Четвертая компонента* (вариабельность 9%) характеризует потребление энергии, ее долю в ВВП и площадь ПТ. В развитых провинциях с большим количеством неэнергоэффективных производств (Гуандун и др.) значение данной компоненты невелико (см. рис. 9). На другом полюсе находятся Пекин, Хайнань и Тайцзин, где высокая энергоэффективность является фактором выживания.

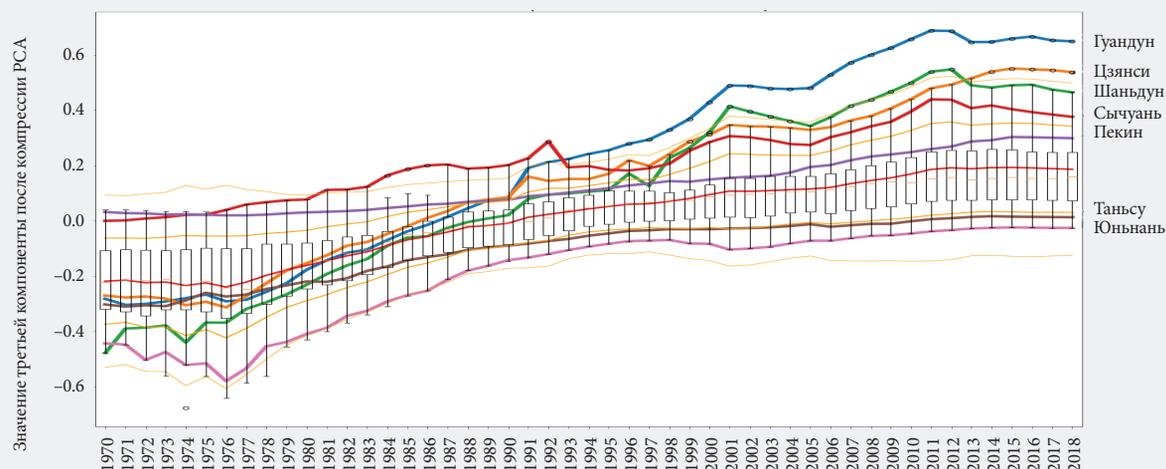
*Пятая и шестая компоненты* (вариабельность 8% и 4% соответственно) иллюстрируют различия между не-

Рис. 7. Динамика значений второй компоненты после компрессии PCA



Источник: составлено авторами.

Рис. 8. Динамика значений третьей компоненты после компрессии PCA



Источник: составлено авторами.

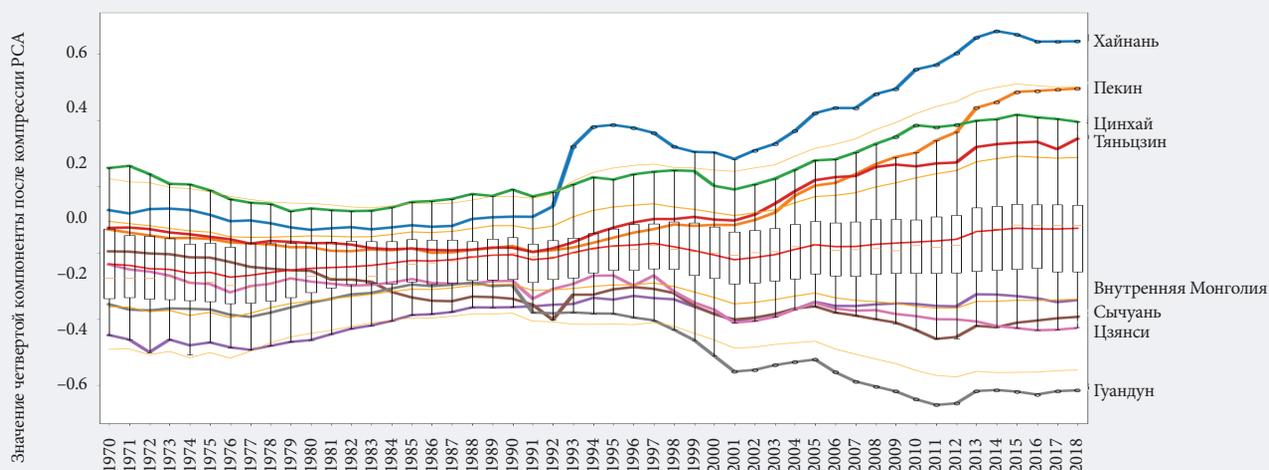
большими провинциями. Пятая компонента отражает разницу в ВВП, шестая — вариацию по площади. Они несущественны для анализа.

На основе первой и второй компонент выявлены тенденции консервации природных зон в Китае с 1970 по 2018 г. (см. рис. 10). Из представленной диаграммы видно, что ПТ сконцентрированы преимущественно в Тибете, Цинхае и Синьцзяне. В Сычуани и Ганьсу наблюдается тенденция к росту площади истощенных, опустошенных земель. В Синьцзяне, участвующем в проекте «Один пояс, один путь», ведется активная добыча нефти и газа. В горных провинциях Тибете и Цинхае располагаются значительные массивы ПТ, но фиксируется низкий уровень экономического развития ввиду сложности с развитием транспортной инфраструктуры (первая железная дорога в Тибете и Цинхае протяженностью 1956 км была открыта 1 июля 2006 г.).

В Ганьсу и Сычуани наблюдается экономический рост, что может отрицательно сказаться на природоохранной деятельности. Северные регионы — Внутренняя Монголия, Хэйлунцзян и Цзилин — не отличаются многообразием природных зон. В остальных провинциях большая часть земель деградирована.

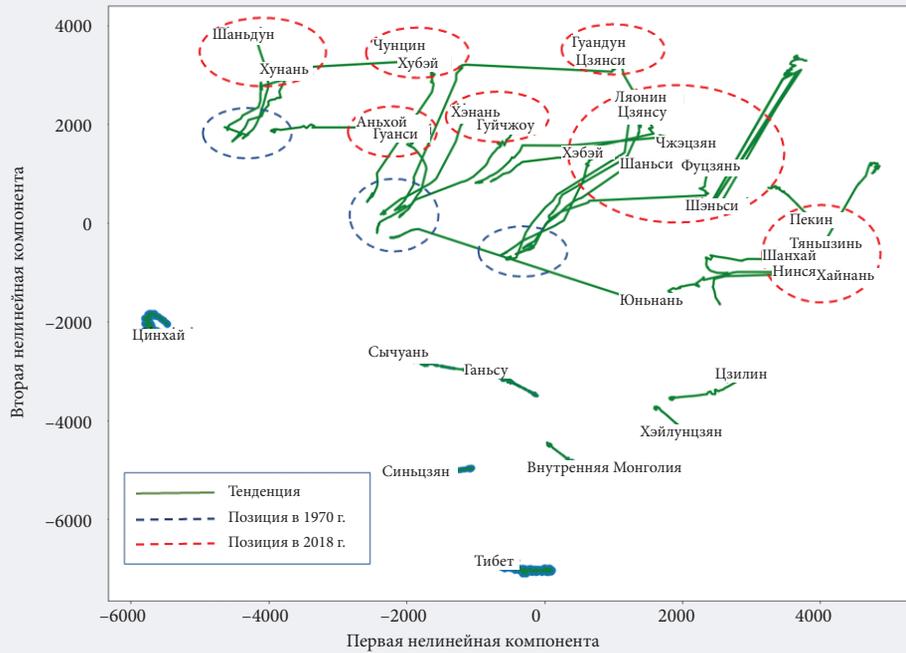
Представленные на рис. 10 результаты показывают, что по сравнению с 1970-ми гг. состояние ПТ ощутимо изменилось. Например, Аньхой имела такие же характеристики, как Хуньнань, однако со временем провинция стала похожей скорее на Гуаньси. Ситуации в Чунцине и Хубэе в 2018 г. также сблизились. В настоящее время все «мини-провинции» схожи между собой. Аналогичные процессы отмечены и в центральных областях с малой площадью, расположенных на небольшой высоте (отчасти благодаря сходным экономическим, социальным и географическим характеристикам), что позволяет ре-

Рис. 9. Динамика значений четвертой компоненты после компрессии PCA



Источник: составлено авторами.

Рис. 10. Тенденции консервации природных территорий в провинциях Китая в 1970–2018 гг.



Примечание: красными линиями обозначены поврежденные, опустошенные земли; синие линии означают новые ОПТ.  
 Источник: составлено авторами.

гиональным властям применять одинаковые стратегии. Здесь расположены центры обрабатывающей и угольной промышленности.

По результатам анализа максимальная площадь ПТ на душу населения была выявлена в Тибете, Синьцзяне, Хайнани и Цинхае. Наименьшие значения отмечаются в Шаньдуне (второй по численности населения провинции Китая), Хэбэе, Цзянсу, Цзилине, Хубэе, Чжэцзяне и Ляонине. Максимальные коэффициенты ПТ — в Тибете, Ганьсу, Гуанси, Юньнани, Синьцзяне, Цинхае, Гуйчжоу и Внутренней Монголии; минимальные — в провинциях Шаньдун, Хэнань, Цзянсу, Чжэцзян, Чунцин и Хубэй. Хотя их площадь невелика, здесь сильнее развита промышленность и выше плотность населения (в Шаньдуне второе место в стране, Хэнане — третье). В Чжэцзяне и Гуандуне отмечен наивысший прирост населения. В 2018 г. население Чжэцзяна увеличилось на 1.41%. Шаньдун обладает максимальным экономическим потенциалом среди всех провинций. Площадь ПТ в северных районах Китая (Внутренней Монголии, Хэйлунцзяне и Цзилине) невелика. Во всех остальных прослеживается тенденция к опустошению земель. Значительные площади ПТ сосредоточены в Тибете и Цинхае, которые, несмотря на низкий уровень экономического развития, играют ключевую роль в реализации проекта «Один пояс, один путь».

## Выводы и рекомендации

В статье выполнен анализ сохранности природных зон в китайских провинциях с применением метода главных компонент, которому предшествовал расчет показателей RWA/PWA на основе модифицированного тождества Кайи.

Установлено, что текущее положение дел в этом отношении существенно отличается от расклада, имевшего место в 1970-е гг. Так, ситуация в Аньхое ранее была схожей с провинцией Хуннань. Сегодня вследствие реализации ряда экологических проектов и принятия правовых норм она стала ближе к профилю провинции Гуанси. Аналогичный характер носят и ситуации с ПТ в соседствующих провинциях Чунцин и Хубэй. Все центральные китайские провинции с небольшой площадью, не относящиеся к высокогорью, демонстрируют сходную картину.

Развитие зеленой экономики видится важным условием обеспечения устойчивости и конкурентоспособности Китая. Для поддержки инициатив по продвижению подобной модели предстоит расширять научные исследования в области географии ПТ [Bocharnikov, 2019]. Для обеспечения «зеленого роста» предстоит минимизировать конфликты между традиционным образом жизни коренных народов, интересами бизнеса, экологическими приоритетами, программами промышленного развития, созданием новых и модернизацией существующих транспортных коридоров [Васиев и др., 2020]. Китай остается в высокой степени аграрной страной с большим населением. Площадь пахотных земель расширяется за счет уничтожения лесов и травяного покрова. Уровень эрозии почв весьма значителен.

Ключевая причина подобной ситуации видится в несогласованности мер экологической и экономической политики и недоучете особенностей регионального развития. В связи с этим отметим некоторые тенденции.

- В большинстве китайских провинций ситуация в отношении освоения природных зон плавно вы-

равнивается, за исключением небольших регионов, где практикуется их консервация — преимущественно естественных экосистем, водоразделов и воздушного бассейна.

- В северо-западных областях картина противоположная. Их географический и региональный контекст существенно варьирует, поэтому рассматривать такие зоны как единую систему и анализировать их исключительно в географическом измерении невозможно.
- Активное освоение ПТ, впервые наметившееся в 1970-е гг. в провинциях Хунань, Хэнань и Хэбэй, охватило большинство китайских регионов, отказавшихся от консервации дикой природы. В данном направлении постепенно движутся и динамично развивающиеся центральные и западные провинции Аньхой, Хубэй и Цзянси, обладающие наибольшим экономическим потенциалом в стране.

Реализуются многочисленные программы по развитию зеленой экономики, минимизации ее воздействия на окружающую среду. Китайская стратегия формирования «экологической цивилизации» (*ecological civilization framework*) — одна из наиболее эффективных инициатив, учитывающих сложную комбинацию концепций зеленого экономического роста и защиты природных зон. Новое экологическое законодательство, включая охрану природных ландшафтов, охватывает все провинции [Хи, 2000].

Дальнейшие исследования в области сохранения ПТ должны охватывать разработку междисциплинарных методов для оценки:

- влияния экономических факторов на окружающую среду;
- сквозных связей социальных, энергетических и экологических факторов, обеспечивающих сохранность ПТ;
- роли зеленых зон в жизни общества.

Учитывая связи между устойчивым ростом и сохранением ПТ, правительству необходимо проводить экологически сбалансированную политику. В государственных стратегиях предусмотрены такие меры, как восстановление лесов, лугов и водоемов; утверждены правила облесения сельскохозяйственных угодий. Проблему недостатка данных о состоянии ПТ в Китае и в других странах следует решать путем принятия соответствующих определений и критериев в отношении среды обитания и установления показателей для ее эффективной охраны и мониторинга. Подобные меры будут способствовать расширению площадей лесного покрова и водоемов, улучшению регулируемости климатических изменений и качества природной среды.

*Исследование выполнено при поддержке Фонда фундаментальных исследований Харбинского инженерного университета для центральных университетов (Harbin Engineering University) Fundamental Research Fund for the Central Universities) в рамках программ «Устойчивое развитие “Зеленого шелкового пути” в рамках сложной сети» (Sustainable Development of Green Silk Road from a Complex Network Perspective проект № 3072020CFJ0901) и «Исследования в области управления цифровым экологически нейтральным интеллектуальным производством и энергетикой» (Sustainable Development of Green Silk Road from a Complex Network Perspective, проект № 3072020CFW0903). Авторы заявляют об отсутствии какого-либо конфликта интересов.*

## Библиография

- Васиев М., Би К., Денисов А., Бочарников В. (2020) Влияние пандемии COVID-19 на устойчивость экономики Китая. *Форсайт*, 14(2), 7–22. DOI: 10.17323/2500-2597.2020.2.7.22
- Стеблянская А., Ванг Дж., Брагина З. (2019) Теория обеспечения устойчивости финансового роста как результата взаимодействия с энергетическими, экологическими и социальными процессами (на примере нефтегазовой индустрии). *Финансы: теория и практика*, 23(2), 134–152. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2019-23-2-134-152>
- Baklanov P.Y., Bocharnikov V.N., Egidarev E.G. (2018) The “Silk Road of China” and economic priorities of the Pacific Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 190(1), 1–8. DOI: 10.1088/1755-1315/190/1/012044. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/190/1/012044/pdf>, дата обращения 15.11.2020.
- Bocharnikov V.N. (2019) Concepts and Measures for Maintaining Wilderness and Landscape Biodiversity in Anthropocene. In: *Innovations in Landscape Research* (eds. L. Mueller, F. Eulenstein), Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, 167–190. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-30069-2>.
- Bocharnikov V., Huettman F. (2019) Wilderness Condition as a Status Indicator of Russian Flora and Fauna: Implications for Future Protection Initiatives. *International Journal of Wilderness*, 25(1), 26–39. <https://ijw.org/wilderness-condition-status-indicator-russian-flora-fauna/>, дата обращения 26.10.2020.
- Cao Y., Carver S., Yang R. (2019) Mapping wilderness in China: Comparing and integrating Boolean and WLC approaches. *Landscape and Urban Planning*, 192, 103636. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103636>
- Ceașu S., Gomes I., Pereira H.M. (2015) Conservation Planning for Biodiversity and Wilderness: A Real-World Example. *Environmental Management*, 55(5), 1168–1180. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0453-9>
- Cleveland C., Costanza R., Hall C.A.S., Kaufmann R. (1984) Energy and the U.S. economy: A biophysical perspective. *Science*, 225(4665), 890–897. DOI: 10.1126/science.225.4665.890
- Connor D., Ford J. (2014) Increasing the Effectiveness of the “Great Green Wall” as an Adaptation to the Effects of Climate Change and Desertification in the Sahe. *Sustainability*, 6(10), 7142–7154. <https://doi.org/10.3390/su6107142>
- Costanza R. (1989) What is ecological economics? *Ecological Economics*, 1(1), 1–7. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(89\)90020-7](https://doi.org/10.1016/0921-8009(89)90020-7)
- Costanza R., de Groot R., Braat L., Kubiszewski I., Fioramonti L., Sutton P., Farber S., Grasso M. (2017) Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28(A), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Costanza R., Giovannini E., Lovins L.H., Mcglade J., Pickett K., Ragnarsdottir K., Roberts D., De Vogli R., Wilkinson R. (2014) Time to leave GDP behind. *Nature*, 505(3), 283–285.
- Daly H.E. (2007) *Ecological Economics and Sustainable Development. Selected Essays*, Cheltenham: Edward Elgar.

- Danilina N., Antje-Neumann K.B. (2016) 19 — Wilderness protection in Russia. Part III — The role of national law in protecting wilderness in Europe. In: *Wilderness Protection in Europe. The Role of European, International and National Law* (ed. K. Bastmeijer), Cambridge: Cambridge University Press, 432–454. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415287.019>
- Features K. (2011) Ordinary Least-Squares Regression. In: *The Multivariate Social Scientist* (eds. G.D. Hutcheson, N. Sofroniou), Thousand Oaks, CA: Sage, 56–113. DOI: 10.4135/9780857028075.d49
- Frelich L.E., Reich P.B. (2009) Wilderness Conservation in an Era of Global Warming and Invasive Species: A Case Study from Minnesota's Boundary Waters Canoe Area Wilderness. *Natural Areas Journal*, 29(4), 385–393. <https://doi.org/10.3375/043.029.0405>
- Hall C.A.S., Lambert J.G., Balogh S.B. (2014) EROI of different fuels and the implications for society. *Energy Policy*, 64, 141–152. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.049>
- Kaya Y., Yokoburi K. (1997) *Environment, energy, and economy: Strategies for sustainability*, Tokyo: United Nations University Press.
- Kosman E., Burgio K.R., Presley S.J., Willig M.R., Scheiner S.M. (2019) Conservation prioritization based on trait-based metrics illustrated with global parrot distributions. *Diversity and Distributions*, 25(7), 1156–1165. <https://doi.org/10.1111/ddi.12923>
- Kuiters A.T., van Eupen M., Carver S., Fisher M., Kun Z., Vancura V. (2013) *Wilderness register and indicator for Europe*, Brussels: European Commission.
- Lester R., Finan A. (2009) *Quantifying the impact of proposed carbon emission reductions on the US energy infrastructure* (Energy Innovation Working Paper Series 004), Zurich: ETH.
- Locke H. (2009) Canada Increases Policy Goals. *International Journal of Wilderness*, 15(1), 4–14. [http://www.wild.org/wp-content/uploads/2009/04/locke-apr09-ijw\\_sm.pdf](http://www.wild.org/wp-content/uploads/2009/04/locke-apr09-ijw_sm.pdf), дата обращения 23.10.2020.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens III W.W. (1972) *The Limits to Growth* (1st ed.), New York: Universe Books.
- Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., Brooks T.M., Pilgrim J.D., Konstant W.R., da Fonseca G.A.B., Kormos C. (2003) Wilderness and Biodiversity Conservation. *PNAS*, 100 (18), 10309–10313. <https://doi.org/10.1073/pnas.1732458100>
- Nash R.F.C.M. (2014) *Wilderness and the American Mind* (5th ed.), New Haven, CT: Yale University Press.
- Palmer G. (2018) A Biophysical Perspective of IPCC Integrated Energy Modeling. *Energies*, 11(4), 839. <https://doi.org/10.3390/en11040839>
- Proctor K.W., Murthy G.S., Higgins C.W. (2021) Agrivoltaics Align with Green New Deal Goals while Supporting Investment in the US' Rural Economy. *Sustainability*, 13(1), 137. <https://doi.org/10.3390/su13010137>
- Rasker R. (2006) An exploration into the economic impact of industrial development versus conservation on western public lands. *Society and Natural Resources*, 19(3), 191–207. <https://doi.org/10.1080/08941920500460583>
- Sahanatien V. (2007) Land Claims as a Mechanism for Wilderness Protection in the Canadian Arctic. In: *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-49*, Washington, D.C.: USDA, 199–203. [https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\\_p049/rmrs\\_p049\\_199\\_203.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p049/rmrs_p049_199_203.pdf), дата обращения 23.10.2020.
- Sandbrook C. (2015) What is conservation? *Oryx*, 49(4), 565–566. <https://doi.org/10.1017/S0030605315000952>
- Shi B., Yang H., Wang J., Zhao J. (2016) City green economy evaluation: Empirical evidence from 15 sub-provincial cities in China. *Sustainability*, 8(6), 551. <https://doi.org/10.3390/su8060551>
- Tang X., Jin Y., Feng C., McLellan B.C. (2018) Optimizing the energy and water conservation synergy in China: 2007–2012. *Journal of Cleaner Production*, 175, 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.100>
- Tang X., McLellan B.C., Snowden S., Zhang B., Höök M. (2015) Dilemmas for China: Energy, economy and environment. *Sustainability*, 7(5), 5508–5520. <https://doi.org/10.3390/su7055508>
- Vaghefi N., Siwar C., Aziz S.A.A.G. (2015) Green Economy: Issues, Approach and Challenges in Muslim Countries. *Theoretical Economics Letters*, 5, 28–35. <http://dx.doi.org/10.4236/tel.2015.51006>
- Ward J.D., Sutton P.C., Werner A.D., Costanza R., Mohr S.H., Simmons C.T. (2016) Is Decoupling GDP Growth from Environmental Impact Possible? *PLoS ONE*, 11(10), e0164733. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164733>
- Williams J.A. (1996) “The chords of the German soul are tuned to nature”: The movement to preserve the natural Heimat from the Kaiserreich to the third Reich. *Central European History*, 29(3), 339–384. <https://doi.org/10.1017/S0008938900013674>
- Wuerthner G. (2018) Anthropocene Boosters and the Attack on Wilderness Conservation. *The Ecological Citizen*, 1(2), 161–166.
- Xi J. (2020) Ecological economics in China: from origins, to inertia, to rejuvenation. In: *Sustainable Wellbeing Futures. A Research and Action Agenda for Ecological Economics* (eds. R. Costanza, J.D. Erickson, J. Farley, I. Kubiszewski), Cheltenham (UK): Edward Elgar Publishing, 61–89. <https://doi.org/10.4337/9781789900958.00013>
- Zimmerman D.W., Zumbo B.D., Williams W.R. (2003) Bias in Estimation and Hypothesis Testing of Correlation. *Psicológica*, 24, 133–158. DOI: 10.1121/1.4831544