

УДК 332.146
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-255-267
EDN ZBOMNM

Моделирование устойчивого развития субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона в условиях цифровизации

Добродомова Т.Н., Лыщикова Ю.В.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
dobrodomova_t@bsuedu.ru, lyshchikova@bsuedu.ru

Аннотация. В статье на основе исследования эволюции подходов к моделированию устойчивого развития регионов, а также с учетом ранее полученных авторами результатов предложен авторский методический подход, базирующийся на структуре «умной» устойчивой территории и основных направлениях и показателях ее оценки. В качестве объекта исследования определены пять областей Центрально-Черноземного макрорегиона. Предметом исследования стали процессы устойчивого развития субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона с точки зрения их экономических, социальных и экологических приоритетов во взаимосвязи с процессами цифровизации. Авторами использованы методы экономико-математического моделирования, сравнительного, динамического, корреляционно-регрессионного анализа. Эмпирическую базу исследования составили материалы статистического сборника «Регионы России. Социально-экономические показатели 2023». Расчеты проводились в пакете анализа данных Microsoft Excel. По итогам нескольких этапов проверки независимых переменных на мультиколлинеарность были отобраны результативный и факторные признаки, построены уравнения регрессии, отражающие зависимость результативного признака от факторных признаков, определены коэффициенты множественной корреляции и степень влияния учтенных и неучтенных в модели факторов на результативный признак. Согласно полученным уравнениям регрессии установлено, что изменения факторных признаков могут иметь различное влияние на ВРП на душу населения субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона, как по направлению связи, так и по величине влияния. Полученные результаты актуализируют необходимость дальнейшего расширения перечня возможных факторных и результативных признаков устойчивого развития, включения в этот перечень показателей развития цифровой инфраструктуры и инновационной деятельности региона, исследования их взаимовлияния и поиска оптимального соотношения переменных в моделях устойчивого развития для увеличения объясняющих и прогностических возможностей моделей.

Ключевые слова: устойчивое развитие, региональная экономика, цифровая трансформация, Центрально-Черноземный макрорегион, корреляционно-регрессионный анализ

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-01636, <https://rscf.ru/project/23-28-01636/>

Для цитирования: Добродомова Т.Н., Лыщикова Ю.В. 2025. Моделирование устойчивого развития субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона в условиях цифровизации. *Экономика. Информатика*, 52(2): 255–267. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-255-267 EDN ZBOMNM

Modeling the Sustainable Development of the Subjects of the Central Chernozem Macro-region in the Context of Digitalization

Tatyana N. Dobrodomova, Julia V. Lyshchikova

Belgorod State National Research University,

85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia

dobrodomova_t@bsuedu.ru, lyshchikova@bsuedu.ru

Abstract. The article proposes the authors' methodological approach based on the structure of a "smart" sustainable territory and the main directions and indicators of its assessment. It relies on the study of the evolution of approaches to modeling the sustainable development of regions, as well as on the authors' previous findings. Five regions of the Central Chernozem macro-region were identified as the object of research. The subject of the study was the sustainable development processes in the subjects of the Central Chernozem macro-region in terms of their economic, social and environmental priorities in connection with digitalization. The authors used methods of economic and mathematical modeling, comparative, dynamic, correlation and regression analysis. The empirical base of the study was made up of materials from the statistical collection "Regions of Russia. Socio-economic indicators 2023". The calculations were performed in the Microsoft Excel data analysis package. Multi-stage checking of independent variables for multicollinearity made it possible to select the effective feature and the factorial features, to construct regression equations reflecting the former's dependence on the latter, as well as to determine multiple correlation coefficients and the degree of the influence that the factors taken into account and those unaccounted for in the model exert on the effective feature. According to the regression equations obtained, it was found that changes in factor characteristics can have different effects on GRP per capita in the subjects of the Central Chernozem macro-region, both in the direction of relationship and in the magnitude of influence. The results obtained actualize the need to further expand the list of possible factorial and effective signs of sustainable development, to include indicators of the region's digital infrastructure development and innovation activities into this list, to study their mutual influence and to find the optimal ratio of variables in sustainable development models to increase the explanatory and predictive capabilities of models.

Keywords: sustainable development, regional economy, digital transformation, Central Chernozem macro-region, correlation and regression analysis

Acknowledgements: the research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-28-01636, <https://rscf.ru/project/23-28-01636/>

For citation: Dobrodomova T.N., Lyshchikova J.V. 2025. Modeling the Sustainable Development of the Subjects of the Central Chernozem Macro-region in the Context of Digitalization. *Economics. Information technologies*, 52(2): 255–267 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-255-267 EDN ZBOMNM

Введение

В настоящее время становится очевидным, что постиндустриальное общество, достигнув определенного «потолка» в своем развитии, далее работает на пределе экологических возможностей для обеспечения комфортной естественной и искусственной среды обитания для человечества. Причиной этого является ограниченность природных ресурсов, имеющих в распоряжении, а также их невоспроизводимость (или медленная воспроизводимость). В то же время значительное антропогенное давление на природу, практически неконтролируемое и во многих случаях непредсказуемое, с каждым годом растет в геометрической прогрессии. В результате как развитые, так и развивающиеся страны, как никогда ранее, остро нуждаются в новых инструментах и подходах к формированию региональной политики на основе устойчивого развития, чтобы обеспечить гармоничное развитие всех сфер: социальной, экономической, промышленной, деловой, экологической и т. д. Решение подобного рода сложной проблемы не может основываться только на экспертных или качественных, в какой-то мере интуитивных подходах, а требует разработки и применения современных методов экономико-математического моделирования и обеспечения соответствующей информационной базы.

Использованию статистических методов и подходов экономико-математического моделирования при формировании политики устойчивого развития регионов посвящено большое количество научных работ.

Ретроспективно, в первую очередь следует упомянуть модель глобального развития Дж. Форрестера, основанную на формализации нелинейных динамических процессов, и доказавшую, что при сохранении нынешних тенденций развития человечеству следует ожидать экономического, экологического и социального кризиса [Форрестер, 1978]. Модель Форрестера, изложенная им в работе «Мировая динамика» в 1971 году, привлекла внимание общественности к мировым проблемам устойчивого развития и послужила толчком к дальнейшим исследованиям в этой области и появлению нового направления – глобального моделирования устойчивого развития. Так, например, в дальнейшем получила широкое распространение модель Пирса – Тернера, отражающая обратные взаимосвязи в экологических и экономических системах. В основу данной модели положена идея перехода от традиционной линейной или открытой экономической системы к циклической, или экономике замкнутого цикла [Pearce, Turner, 1989].

К числу первых моделей, посвященных изучению взаимосвязи между экономикой и окружающей средой, можно отнести также модель межотраслевого баланса В.В. Леонтьева и Д. Форда, поскольку при балансовом методе должно соблюдаться равновесие между производством, социальной сферой и экологией. Сама идея модели межотраслевого баланса позволяет устанавливать взаимосвязи между отраслями промышленности региона в процессе его деятельности. Но она в большей степени ориентирована именно на производственно-экономическую деятельность. Использование природных ресурсов в ней учтено только в качестве компенсации за загрязнение. В дальнейшем модель межотраслевого баланса была значительно модернизирована, особенно на региональном уровне, в контексте установления связей между природной средой и экономикой региона. При этом критерием оптимизации моделей регионального уровня часто выступает минимизация общих приведенных издержек производства наряду с минимизацией затрат на природоохранные мероприятия. Однако они не учитывают социальную составляющую регионального развития [Рюмина, 2000].

Сейчас глобальное понимание того, что такое устойчивое развитие, как его можно измерить и как его можно достичь, меняется. Первоначально в докладе «Наше общее будущее» [Brundtland, 1987] основное внимание уделялось содействию нынешнему экономическому росту без ущерба для окружающей среды и для возможностей будущего экономического роста, т. е. по большому счету это была эколого-экономическая концепция. Со временем стал более детально проработанным трехкомпонентный подход к устойчивому развитию, основанный на триединстве экологической, социальной и экономической составляющих. Сегодня этот подход понимается как требующий принятия решений, способствующих инклюзивному экономическому росту, равенству и беспристрастности в социальном развитии, а также поддержанию и восстановлению качества окружающей среды на планете.

Дальнейшая трансформация устойчивого развития свидетельствует о продолжающейся эволюции глобального понимания этой концепции, в том числе в контексте происходящей во всем мире цифровой революции. Цели в области устойчивого развития (ЦУР), принятые ООН в 2015 году, предоставляют широкий перечень индикаторов для отбора на государственном уровне, что позволяет индивидуализировать подход и придавать показателям различный вес в зависимости от страновых условий развития. Соответственно, некоторые цели и показатели могут иметь больший вес, чем другие, но в любом случае все 17 целей рассматриваются как неделимые [Modelling for Sustainable Development: New decisions for a new age, 2019]. В ЦУР также подчеркивается, что человечество может устойчиво развиваться только в том случае, если хорошо понятны взаимосвязи между целями. Таким образом, ключевой проблемой моделирования устойчивого развития на современном этапе становится необходимость понимания сложных связей и взаимодействий между целями в области развития и, следовательно, между экологическими, социальными и экономическими параметрами, включенными в модели [Henderson, Loreau, 2023; Алфорова, Третьякова, 2024].

В связи с этим, переходя к современным подходам к моделированию устойчивого развития регионов, представленным в российской и зарубежной научной периодике, нужно упомянуть такие новации, как использование методов когнитивного анализа [Zakharova, Prokhorova, 2015], сетевого анализа и нейронных сетей [Ranjula Bali Swain, Shyam Ranganathan, 2021], агент-ориентированного моделирования [Rodionov, Dianov, Dianov, 2022], индексного анализа [Borodin, 2023], комбинирование различных методов корреляционно-регрессионного анализа и математической статистики [Yemelina, Omarova, Anara, 2018; Antipov et al., 2020; Шимановский, Третьякова, 2020; Shamaeva, Surskova, 2021; Ospanov et al., 2022; Marhasova et al., 2022], включение факторов цифровизации [Tsypkin et al., 2020; Tulchynska et al., 2021; Leonova, Vinogradov, Burylov, Mozaleva, 2021; Bolsunovskaya et al., 2023].

Анализ данных исследований подтверждает тезис о слабой структурированности и нелинейности устойчивого развития региональных систем. При этом статистические методы хорошо разработаны только для одномерных случайных величин. Если учитывать несколько взаимосвязанных факторов, то придется обратиться к построению многомерной статистической модели. Таким образом, возникает необходимость в устранении существующих противоречий в моделировании устойчивого развития регионов и в разработке подхода, который основан на установлении надежной взаимосвязи между основными целями и сферами устойчивого развития с учетом фактора цифровизации.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступают пять областей Центрально-Черноземного макрорегиона, а именно Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая и Тамбовская области. Предметом исследования являются процессы устойчивого развития субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона с точки зрения их экономических, социальных и экологических приоритетов во взаимосвязи с процессами цифровизации.

В основу авторского методического подхода положены результаты предыдущих исследований авторов, а именно структура «умной» устойчивой территории и основные направления и показатели ее оценки (конкурентоспособность и инновационное развитие; формирование удобной для человека физической и виртуальной среды; сохранение природной среды; развитие социального и человеческого капитала; качество жизни, равенство и инклюзивность; эффективность администрирования, открытость и участие общества в управлении) [Лыщикова, 2023, 2024].

Для получения результатов, представленных в статье, были использованы методы экономико-математического моделирования, сравнительного, динамического, корреляционно-регрессионного анализа. Эмпирическую базу исследования составили материалы статистического сборника «Регионы России. Социально-экономические показатели 2023». Расчеты проводились в пакете анализа данных Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Обобщающим показателем экономической деятельности и устойчивого развития региона, характеризующим процесс производства товаров и услуг для конечного использования, является валовой региональный продукт на душу населения, динамика которого представлена на рис. 1.

Проанализировав динамику ВРП на душу населения субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона за период с 2018 по 2022 год, мы получили ряд выводов.

В 2022 году по сравнению с 2018 годом ВРП на душу населения в Белгородской области вырос на 61,3 тыс. руб. или в 1,129 раза, таким образом, относительное увеличение составило 12,9 %. По сравнению с 2021 годом исследуемый показатель 2022 года вырос на 27,4 тыс. руб. или в 1,054 раза, относительное увеличение составило 5,4 %.

ВРП на душу населения Курской области в 2022 году по сравнению с 2018 годом вырос на 87,8 тыс. руб. или в 1,235 раза, таким образом, относительное увеличение составило 23,5 %.

По сравнению с 2021 годом исследуемый показатель 2022 года вырос на 41,7 тыс. руб. или в 1,099 раза, относительное увеличение составило 9,9 %.

В 2022 году по сравнению с 2018 годом ВРП на душу населения Липецкой области вырос на 67,2 тыс. руб. или в 1,147 раза, таким образом, относительное увеличение составило 14,7 %. По сравнению с 2021 годом исследуемый показатель 2022 года вырос на 27,1 тыс. руб. или в 1,055 раза, относительное увеличение составило 5,5 %.

ВРП на душу населения Тамбовской области в 2022 году по сравнению с 2018 годом вырос на 60,5 тыс. руб. или в 1,213 раза, таким образом, относительное увеличение составило 21,3 %. По сравнению с 2021 годом исследуемый показатель 2022 года вырос на 29,1 тыс. руб. или в 1,092 раза, относительное увеличение составило 9,2 %.

В 2022 году по сравнению с 2018 годом ВРП на душу населения Воронежской области вырос на 107,5 тыс. руб. или в 1,305 раза, таким образом, относительное увеличение составило 30,5 %. По сравнению с 2021 годом исследуемый показатель 2022 года вырос на 49,7 тыс. руб. или в 1,127 раза, относительное увеличение составило 12,7 %.

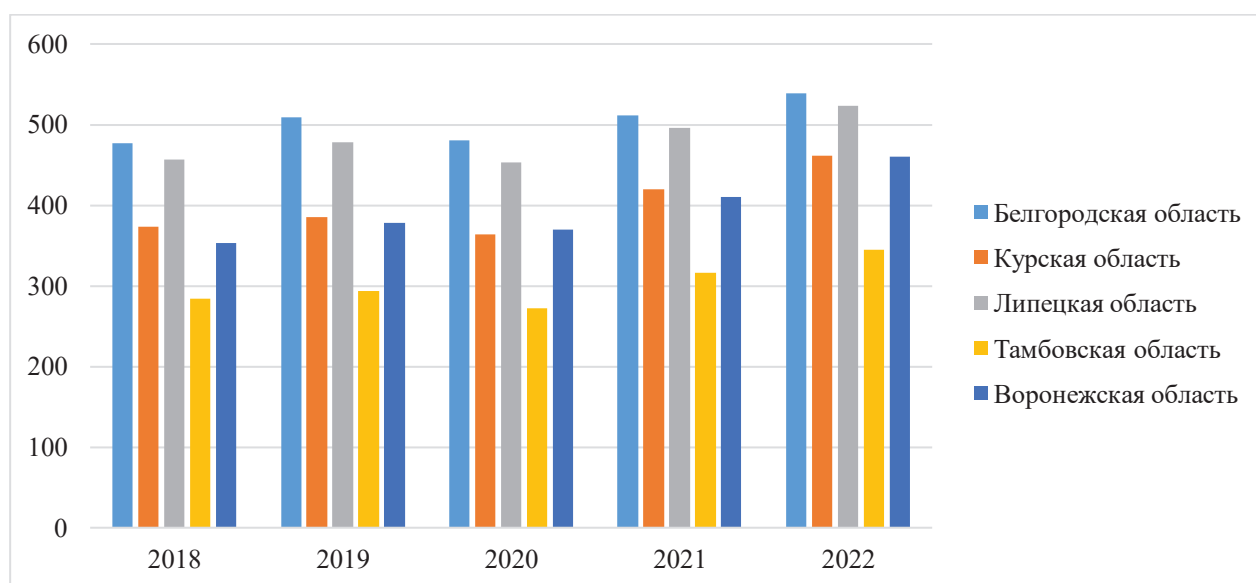


Рис 1. Динамика ВРП на душу населения субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона за 2018–2022 гг. (построено авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])

Fig. 1. Dynamics of GRP per capita in the subjects of the Central Chernozem macro-region for 2018–2022 (constructed by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

Чтобы оценить интенсивность изменения ВРП на душу населения исследуемых регионов во времени, мы рассчитали коэффициенты опережения, приняв за базу сравнения базисный темп роста ВРП на душу населения Белгородской области. В результате анализа мы установили, что Курская область по размеру ВРП на душу населения развивается интенсивнее Белгородской области в 1,094 раза, Липецкая – в 1,017 раза, Тамбовская в 1,075 раза и Воронежская – в 1,156 раза.

Далее мы построили уравнения трендов ВРП на душу населения регионов Центрально-Черноземного макрорегиона и рассчитали для них величину достоверности аппроксимации (рис. 2).

Достоверность аппроксимации во всех случаях близка к 1, что говорит о максимально точном соответствии между теоретическим и реальным распределением.

Далее на основе направлений и составляющих «умного» устойчивого развития территорий мы отобрали факторы для построения модели взаимосвязи результативного и факторных признаков устойчивого развития регионов в условиях цифровизации.

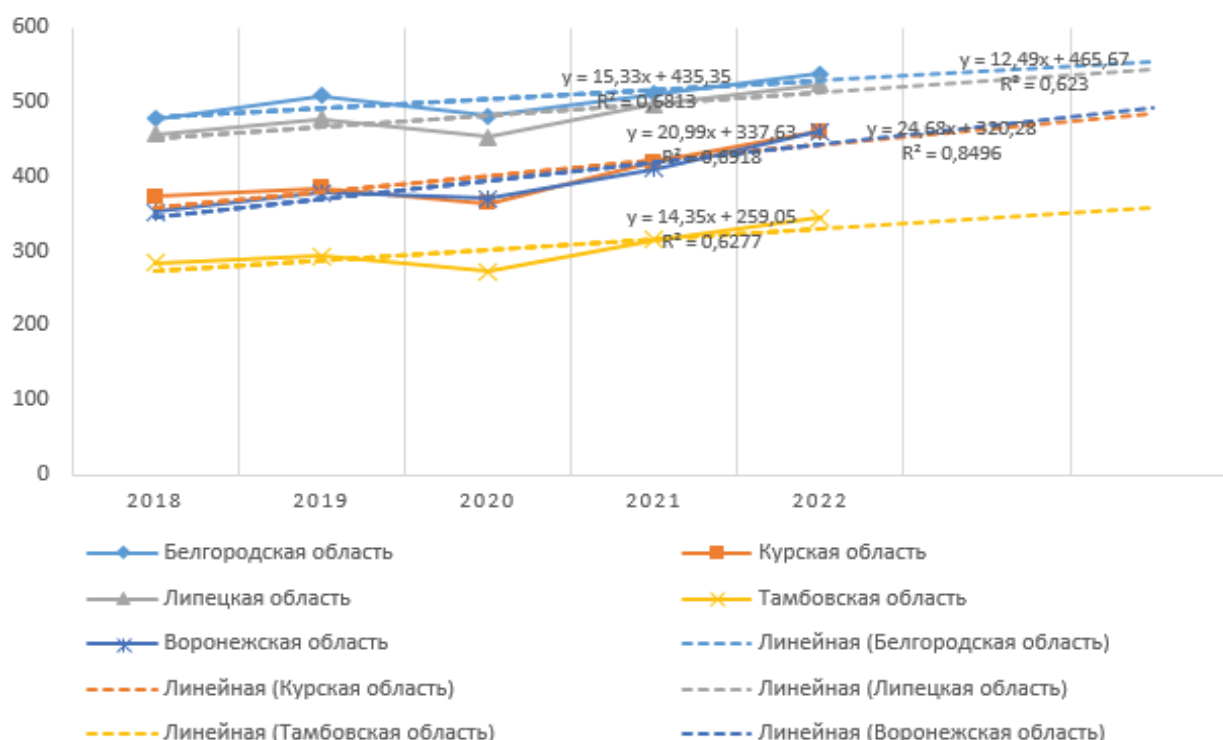


Рис. 2. Уравнения тренда и величина достоверности аппроксимации ВРП на душу населения субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона (построено авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])

Fig. 2. Trend equations and the magnitude of the reliability of the GRP approximation per capita of the subjects of the Central Chernozem macroregion (constructed by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

В качестве результативного признака выбран размер ВРП на душу населения (y), а в качестве факторных признаков по направлениям: конкурентоспособность и инновационное развитие – инвестиции в основной капитал (x_1); сохранение природной среды – улавливание загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников (x_2); формирование удобной для человека виртуальной среды – затраты на внедрение и использование цифровых технологий (x_3); развитие социального и человеческого капитала – заболеваемость на 1000 человек населения (x_4); формирование удобной для человека физической среды – общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя (x_5); качество жизни, равенство и инклюзивность – коэффициент Джини (x_6).

На следующем этапе исследования была проведена проверка независимых переменных модели на мультиколлинеарность путем построения матрицы коэффициентов корреляции по шести факторным признакам. Так мы выявили, что между X_1 и X_3 , X_1 и X_5 , X_2 и X_5 существует тесная связь, то есть наблюдается явление мультиколлинеарности.

Поскольку фактор X_1 дважды повторился в комбинациях признаков, характеризующихся мультиколлинеарностью, то мы заменили его на другой показатель конкурентоспособности и инновационного развития – стоимость основных фондов.

После замены фактора X_1 снова была проведена проверка независимых переменных модели на мультиколлинеарность, в результате которой было установлено, что X_5 имеет тесную связь со всеми независимыми переменными. Поэтому на следующем этапе мы заменили показатель общей площади жилых помещений, приходящейся в среднем на одного жителя региона, на другой показатель формирования удобной для человека физической среды – мощность амбулаторно-поликлинических организаций региона.

Данная замена показателя не оказала положительного влияния на совокупность факторов для построения модели устойчивого развития территории, поскольку построенная матрица коэффициентов корреляции показала наличие тесной связи между X_1 , X_2 , X_3 , X_4 и X_5 . В

результате еще нескольких итераций и проверок на мультиколлинеарность на завершающем этапе подбора в качестве факторных признаков были предложены: стоимость основных фондов (x_1), объем оборотной и последовательно используемой воды (x_2), затраты на внедрение и использование цифровых технологий (x_3), заболеваемость на 1000 человек населения (x_4), внутренние затраты на научные исследования и разработки (x_5) и коэффициент Джини (x_6).

Далее по каждому субъекту Центрально-Черноземного макрорегиона для отобранных результативного и факторных признаков были построены матрицы коэффициентов корреляции.

Матрица коэффициентов корреляции по шести независимым переменным показала на наличие тесной связи между затратами на внедрение и использование цифровых технологий (x_3) и внутренними затратами на научные исследования и разработки (x_5). Наличие прямой тесной взаимосвязи между затратами на внедрение и использование цифровых технологий и внутренними затратами на научные исследования и разработки, т. е. между показателями развития цифровой инфраструктуры и инновационного развития региона, безусловно, заслуживает внимания и дополнительного дальнейшего исследования с точки зрения оценки влияния развития цифровой инфраструктуры на инновационное развитие региона. Но поскольку данные факторные признаки характеризуются мультиколлинеарностью, на следующем этапе мы исключили независимые переменные X_3 и X_5 и построили матрицы коэффициентов корреляции по четырем независимым переменным по пяти исследуемым регионам (табл. 1–5).

Таблица 1
Table 1

Матрица коэффициентов корреляции по четырем независимым переменным по Белгородской области (рассчитано авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])

Matrix of correlation coefficients for four independent variables in the Belgorod region (calculated by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

	y	$X1$	$X2$	$X4$	$X6$
y	1				
$X1$	0,735275	1			
$X2$	-0,72615	-0,62343	1		
$X4$	0,011095	0,416184	0,447244	1	
$X6$	-0,72327	-0,83038	0,380561	-0,46941	1

Таблица 2
Table 2

Матрица коэффициентов корреляции по четырем независимым переменным по Воронежской области (рассчитано авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])

Matrix of correlation coefficients for four independent variables in the Voronezh region (calculated by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

	y	$X1$	$X2$	$X4$	$X6$
y	1				
$X1$	0,635032	1			
$X2$	0,659063	0,6930599	1		
$X4$	0,97901	0,49025	0,497212	1	
$X6$	0,919165	0,5704531	0,6759498	0,6841817	1

Таблица 3
Table 3

Матрица коэффициентов корреляции по четырем независимым переменным по Курской области (рассчитано авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])

Matrix of correlation coefficients for four independent variables in the Kursk region (calculated by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

	y	$X1$	$X2$	$X4$	$X6$
y	1				
$X1$	0,84252	1			
$X2$	-0,47555	0,673919	1		
$X4$	0,79688	0,680771	-0,87548	1	
$X6$	0,86293	0,690773	-0,62952	0,786998	1

Таблица 4
Table 4

Матрица коэффициентов корреляции по четырем независимым переменным по Липецкой области (рассчитано авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])

Matrix of correlation coefficients for four independent variables in the Lipetsk region (calculated by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

	y	$X1$	$X2$	$X4$	$X6$
y	1				
$X1$	0,696711	1			
$X2$	0,048293	-0,21971	1		
$X4$	-0,78688	-0,57125	-0,59994	1	
$X6$	-0,73194	-0,66457	0,09757	0,548916	1

Таблица 5
Table 5

Матрица коэффициентов корреляции по четырем независимым переменным по Тамбовской области (рассчитано авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])

Matrix of correlation coefficients for four independent variables in the Tambov region (calculated by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

	y	$X1$	$X2$	$X4$	$X6$
y	1				
$X1$	0,703831	1			
$X2$	-0,59706	0,197323	1		
$X4$	-0,55048	-0,4364	0,475203	1	
$X6$	0,912027	0,676359	-0,73048	-0,81757	1

После того, как мы убедились в отсутствии тесной связи между отобранными независимыми переменными, на основе корреляционно-регрессионного анализа нами были построены уравнения регрессии, отражающие зависимость результативного признака от

факторных признаков, определены коэффициенты множественной корреляции и степень влияния учтенных и неучтенных в модели факторов на результативный признак (табл. 6).

Таблица 6
Table 6

Результаты моделирования устойчивого развития субъектов
Центрально-Черноземного макрорегиона (рассчитано авторами по данным
[Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])

The results of modeling the sustainable development of the subjects of the Central Chernozem
macroregion (calculated by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators,
2023])

Регион	Уравнение регрессии	Коэффициент множественной корреляции	Влияние учтенных в модели факторов, %	Влияние неучтенных в модели факторов, %
Белгородская область	$y=11394,93+0,003x_1-4,64x_2+11,13x_4+7739,65x_6$	0,68	42,1	57,9
Воронежская область	$y=-1151,99+1,73x_1+0,021x_2+0,96x_4+2502,2x_6$	0,71	52,4	47,6
Курская область	$y=1697,95+0,00015x_1+0,225x_2+2,23x_4-1248,91x_6$	0,71	53,2	46,8
Липецкая область	$y=7491,24-0,00019x_1-1,24x_2-5,94x_4-0,056x_6$	0,53	41,8	58,2
Тамбовская область	$y=-10377+8,801x_1+2,99x_2+1,02x_4+23838,1x_6$	0,82	63,2	36,8

Далее мы оценили тесноту связи между результативным признаком и факторными признаками в полученных уравнениях регрессии по шкале Чеддока. Коэффициент множественной корреляции принимает значения от 0,53 до 0,82, следовательно, между результативным признаком и факторными признаками существует средняя (по Белгородской и Липецкой области) и сильная (по Воронежской, Курской и Тамбовской области) связь.

Также согласно выводу итогов в пакете анализа данных Microsoft Excel на основе F-критерия Фишера мы определили, что с вероятностью 0,95 все полученные нами уравнения линейной множественной регрессии являются статистически значимыми.

Исходя из построенных моделей, изменение валового регионального продукта на душу населения в исследованных субъектах Центрально-Черноземного макрорегиона может быть объяснено влиянием выбранных факторных признаков на величину от 41,8 % до 63,2 %, влияние неучтенных в моделях факторов составляет от 36,8 % до 58,2 %.

Также нужно отметить, что, согласно полученным уравнениям регрессии, изменения факторных признаков могут иметь различное влияние на результативный признак, т. е. ВРП на душу населения субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона, как по направлению связи (положительное или отрицательное влияние), так и по величине влияния. Данные результаты в целом согласуются с результатами других исследований, согласно которым между показателями экономического, социального и экологического развития регионов достаточно часто наблюдается обратная взаимосвязь. Также полученные результаты актуализируют необходимость дальнейшего расширения перечня возможных факторных и результативных признаков устойчивого развития, включения в этот перечень показателей развития цифровой инфраструктуры и инновационной деятельности региона, исследования их взаимовлияния и поиска оптимального соотношения переменных в моделях устойчивого развития для увеличения объясняющих и прогностических возможностей моделей.

Заключение

В заключение сформулируем несколько выводов по результатам исследования, которые могут стать основой для дальнейших разработок.

Несмотря на разнообразие подходов к оценке и моделированию устойчивого развития регионов, все они, на наш взгляд, обладают рядом недостатков. Во-первых, оценка устойчивости регионального развития осуществляется только на основе определенных показателей, которые, в свою очередь, оцениваются на основе статистических данных и, чаще всего, сравниваются с некими граничными условиями. Однако такой подход дает четкое представление лишь о текущей ситуации. Он не позволяет моделировать развитие региона путем установления причинно-следственных связей и анализа возможных сценариев реализации определенных стратегических целей, и поэтому он неэффективен в управлении региональным развитием и в реализации региональной политики.

Во-вторых, разнообразие подходов к оценке устойчивого развития регионов, наличие разных групп критериев, разных уровней предельных критериев устойчивого развития приводит к тому, что каждый регион может самостоятельно формировать оценки устойчивости, которые могут противоречить друг другу. При примерно одинаковых показателях развития один регион может считать себя регионом, отвечающим условиям устойчивого развития, а другой – нет. Это означает, что на национальном уровне невозможно оценить уровень устойчивого развития как регионов, так и государства в целом. Единственным решением в этом направлении, на наш взгляд, должна стать централизованная разработка методов оценки устойчивого развития регионов с установлением единого перечня показателей и граничных условий для них. Новая методология должна не только оценивать текущее состояние развития региона в соответствии с принципами устойчивого развития, но и учитывать причинно-следственные связи между показателями эффективности региона для разработки стратегических целей и задач устойчивого развития.

Список источников

- Регионы России. Социально-экономические показатели 2023. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 14.10.2024).
- Brundtland G. 1987. Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> (дата обращения: 14.10.2024).
- Modelling for Sustainable Development: New decisions for a new age. 2019. International Institute for Sustainable Development. <https://www.iisd.org/system/files/publications/modelling-for-sustainable-development.pdf> (дата обращения: 14.10.2024).

Список литературы

- Алферова Т.В., Третьякова Е.А. 2024. Структурное моделирование взаимосвязей целей устойчивого развития регионов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*, 18(2): 5–24. DOI: 10.14529/em240201
- Антипов С.К. 2022. Моделирование устойчивого развития арктических регионов Российской Федерации (на примере Мурманской области). *π-Economy*, 15(6): 146–159. DOI: 10.18721/JE.15610
- Лыщикова Ю.В. 2023. «Умный устойчивый город»: формирование концепции, оценка, управление. Цифровые интеллектуальные экосистемы в экономике и промышленности. Санкт-Петербург: 106–128. DOI: 10.18720/IEP/2023.5/5
- Лыщикова Ю.В. 2024. Концепция «умная деревня» как новый подход к устойчивому развитию сельских территорий. *АПК: экономика, управление*, 3: 103–116. DOI: 10.33305/243-103
- Рюмина Е.В. 2000. Анализ эколого-экономических взаимодействий. Москва. Наука, 158 с.
- Форрестер Дж. В. 1978. Мировая динамика / перевод с англ. А.Н. Ворошука, С.А. Пегова ; под ред. Д.М. Гвишиани, Н.Н. Моисеева ; с предисл. Д.М. Гвишиани и послесл. Н.Н. Моисеева. Москва: Наука, 167 с.

- Шимановский Д.В., Третьякова Е.А. 2020. Моделирование социо-эколого-экономических взаимосвязей как способ оценки устойчивого развития регионов РФ. *Вестник Пермского университета. Серия: Экономика*, 15(3): 369–384. DOI: 10.17072/1994-9960-2020-3-369-384
- Antipov S. K. et al. 2020. Comparing Models of Sustainable Development for the Arctic Region of the Russian Federation. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 539: 012102. doi:10.1088/1755-1315/539/1/012102
- Bolsunovskaya M.V., Kudryavtseva T.Y., Rudskaya I.A., Gintciak A.M., Zhidkov D.O., Fedyaevskaya D.E., Burlutskaya Z.V. 2023. Digital Platform for Modeling the Development of Regional Innovation Systems of Russian Federation. *International Journal of Technology*, 14(8): 1779–1789. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i8.6843>
- Borodin C.H. 2023. A Model for Assessing Regional Sustainable Development Based on the Index Method. *Economy of Regions*, 19(1): 45–59. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-4>
- Henderson K., Loreau M. 2023. A model of Sustainable Development Goals: Challenges and opportunities in promoting human well-being and environmental sustainability. *Ecological Modelling*, 475, 110164. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110164>
- Leonova T., Vinogradov L., Burylov V., Mozaleva N. 2021. Modeling Of Regions Sustainable Development Based On Digital Technologies. In I. V. Kovalev, A. A. Voroshilova & A. S. Budagov (Eds.), *Economic and Social Trends for Sustainability of Modern Society (ICEST-II 2021)*. European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. European Publisher, 116: 707–716. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2021.09.02.79>
- Marhasova V., Tulchynska S., Popelo O., Garafonova O., Yaroshenko I., Semykhulyna I. 2022. Modeling the harmony of economic development of regions in the context of sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, Vol. 17, No. 2, pp. 441–448. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.170209>
- Ospanov Y.A., Orazbayeva K.N., Mendebayeva A.D., Mukhametov Y.M., Sadu Zn.N. 2022. Sustainable development and environmental management of the region based on economic and mathematical modeling. Proc. SPIE 12296, International Conference on Remote Sensing of the Earth: Geoinformatics, Cartography, Ecology, and Agriculture (RSE 2022), 122960A. <https://doi.org/10.1117/12.2642899>
- Pearce D.W., Turner R. K. 1989. *Economics of Natural Resources and the Environment*. JHU Press, 392 p.
- Ranjula Bali Swain, Shyam Ranganathan. 2021. Modeling interlinkages between sustainable development goals using network analysis. *World Development*, 138, 105136. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105136>
- Rodionov D., Dianov D., Dianov S. 2022. Agent-based modelling of sustainable development of regional healthcare infrastructure. *Sustainable Development and Engineering Economics* 3, 3. <https://doi.org/10.48554/SDEE.2022.3.3>
- Shamaeva E.F., Surskova E.S. 2021. Modeling the relationship between achieving the sustainable development goals on the example of the Russian Federation. *SHS Web of Conferences*, 128, 05015. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202112805015>
- Tsyppin Yu.A. et al. 2020. Strategic digital model for sustainable spatial regional development. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 579, 012138. doi:10.1088/1755-1315/579/1/012138
- Tulchynska S., Popelo O., Garafonova O., Yaroshenko I., Semyhulina I. 2021. Modeling the influence of innovative factors on sustainable development of regions in the context of digitalization. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 24(8): 1–8.
- Yemelina N., Omarova A., Anara K. 2018. Modelling of Sustainable Development. *Journal Of Environmental Management And Tourism*, 9(1): 124–129. doi:10.14505/jemt.v9.1(25).15
- Zakharova E.N., Prokhorova V.V. 2015. Modeling of Sustainable Development of the Region on the Basis of Cognitive Analysis. *Asian Social Science*, 11(7). DOI: 10.5539/ass.v11n7p362.

References

- Alferova T.V., Tretyakova E.A. 2024. Structural modeling of the interrelationships of the sustainable development goals of the regions. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management*, 18(2): 5–24. DOI: 10.14529/em240201
- Antipov S.K. 2022. Modeling the sustainable development of the Arctic regions of the Russian Federation (using the example of the Murmansk region). *π-Economy*, 15(6): 146–159. DOI: 10.18721/JE.15610

- Lyschikova Yu.V. 2023. "Smart sustainable city": concept formation, assessment, management. Digital intelligent ecosystems in the economy and industry. Saint Petersburg: 106–128. DOI: 10.18720/IEP/2023.5/5
- Lyschikova Yu.V. 2024. The concept of "smart village" as a new approach to sustainable rural development. *APK: economics, management*, 3: 103–116. DOI: 10.33305/243-103
- Ryumina E.V. 2000. Analysis of ecological and economic interactions. Moscow. Science, 158 p.
- Forrester J. V. 1978. World dynamics / Translated from the English by A.N. Voroshchuk, S.A. Pegova ; Edited by D.M. Gvishiani, N.N. Moiseev; With a preface by D.M. Gvishiani and afterword by N.N. Moiseev. Moscow: Nauka, 167 p.
- Shimanovsky D.V., Tretyakova E.A. 2020. Modeling of socio-ecological and economic relationships as a way to assess the sustainable development of the regions of the Russian Federation. *Bulletin of the Perm University. Series: Economics*, 15(3): 369–384. DOI: 10.17072/1994-9960-2020-3-369-384
- Antipov S. K. et al. 2020. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 539: 012102. doi:10.1088/1755-1315/539/1/012102
- Bolsunovskaya M.V., Kudryavtseva T.Y., Rudskaya I.A., Gintciak A.M., Zhidkov D.O., Fedyaevskaya D.E., Burlutskaya Z.V. 2023. Digital Platform for Modeling the Development of Regional Innovation Systems of Russian Federation. *International Journal of Technology*, 14(8): 1779–1789. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i8.6843>
- Borodin C.H. 2023. A Model for Assessing Regional Sustainable Development Based on the Index Method. *Economy of Regions*, 19(1): 45–59. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-4>
- Henderson K., Loreau M. 2023. A model of Sustainable Development Goals: Challenges and opportunities in promoting human well-being and environmental sustainability. *Ecological Modelling*, 475, 110164. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110164>
- Leonova T., Vinogradov L., Burylov V., Mozaleva N. 2021. Modeling Of Regions Sustainable Development Based On Digital Technologies. In I. V. Kovalev, A. A. Voroshilova & A. S. Budagov (Eds.), Economic and Social Trends for Sustainability of Modern Society (ICEST-II 2021). European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. European Publisher, 116: 707–716. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2021.09.02.79>
- Marhasova V., Tulchynska S., Popelo O., Garafonova O., Yaroshenko I., Semykhulyna I. 2022. Modeling the harmony of economic development of regions in the context of sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, Vol. 17, No. 2, pp. 441–448. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.170209>
- Ospanov Y.A., Orazbayeva K.N., Mendebayeva A.D., Mukhametov Y.M., Sadu Zn.N. 2022. Sustainable development and environmental management of the region based on economic and mathematical modeling. Proc. SPIE 12296, International Conference on Remote Sensing of the Earth: Geoinformatics, Cartography, Ecology, and Agriculture (RSE 2022), 122960A. <https://doi.org/10.1117/12.2642899>
- Pearce D.W., Turner R.K. 1989. Economics of Natural Resources and the Environment. JHU Press, 392 p.
- Ranjula Bali Swain, Shyam Ranganathan. 2021. Modeling interlinkages between sustainable development goals using network analysis. *World Development*, 138, 105136. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105136>
- Rodionov D., Dianov D., Dianov S. 2022. Agent-based modelling of sustainable development of regional healthcare infrastructure. *Sustainable Development and Engineering Economics* 3, 3. <https://doi.org/10.48554/SDEE.2022.3.3>
- Shamaeva E.F., Surskova E.S. 2021. Modeling the relationship between achieving the sustainable development goals on the example of the Russian Federation. SHS Web of Conferences, 128, 05015. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202112805015>
- Tsyarkin Yu.A. et al. 2020. Strategic digital model for sustainable spatial regional development. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 579, 012138. doi:10.1088/1755-1315/579/1/012138
- Tulchynska S., Popelo O., Garafonova O., Yaroshenko I., Semyhulina I. 2021. Modeling the influence of innovative factors on sustainable development of regions in the context of digitalization. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 24(8): 1–8.
- Yemelina N., Omarova A., Anara K. 2018. Modelling of Sustainable Development. *Journal Of Environmental Management And Tourism*, 9(1): 124–129. doi:10.14505/jemt.v9.1(25).15
- Zakharova E.N., Prokhorova V.V. 2015. Modeling of Sustainable Development of the Region on the Basis of Cognitive Analysis. *Asian Social Science*, 11(7). DOI: 10.5539/ass.v11n7p362.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 28.11.2024

Поступила после рецензирования 12.12.2024

Принята к публикации 16.12.2024

Received November 28, 2024

Revised December 12, 2024

Accepted December 16, 2024

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Добродомова Татьяна Николаевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Лыщикова Юлия Владимировна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tatyana N. Dobrodomova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Julia V. Lyshchikova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia