

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РЫНКА

УДК: 338.23
JEL: Q56, Q58

Влияние политики государства в области защиты окружающей среды на выбросы CO₂

Е.А. Трофимова, к.э.н.

<https://orcid.org/0000-0002-6946-5098>; SPIN-код (РИНЦ): 4849-9349

e-mail: elena.Trofimova@urfu.ru

Е.В. Лантева, магистрант

<https://orcid.org/0000-0002-1128-7700>

e-mail: evlapteva@edu.hse.ru

Н.Р. Музафаров, магистрант

e-mail: nrmuzafarov@edu.hse.ru

Для цитирования

Трофимова Е.А., Лантева Е.В., Музафаров Н.Р. Влияние политики государства в области защиты окружающей среды на выбросы CO₂ // Проблемы рыночной экономики. – 2022. – № 1. – С. 169-184.

DOI: <https://doi.org/10.33051/2500-2325-2022-1-169-184>

Аннотация

Предмет/тема. В статье рассматриваются и оцениваются параметры политики государства, направленной на регулирование состояния окружающей среды, по разным группам стран. **Цели/задачи.** Целью работы является изучение влияния мер государственной политики на объем выбросов CO₂. **Методология.** В ходе анализа были изучены состояние и тенденции развития комплекса государственных мер в области защиты окружающей среды по группам 30 развитых и развивающихся стран за период 2009-2018 гг. В эмпирической части исследования были построены и оценены модели, позволяющие установить зависимость между выбросами CO₂ и такими показателями как расходы государства на защиту экологии, налоговые поступления от загрязнений, производство услуг по охране окружающей среды, а также рядом контрольных переменных с помощью эконометрических методов анализа. **Результаты.** Выявлена N-образная взаимосвязь между налоговыми поступлениями от загрязнения экологии и выбросами CO₂, инвестиции в проекты по защите окружающей среды оказались значимы для обеих групп стран (при этом сильнее они сокращают выбросы в развитых экономиках), подтверждена гипотеза Экологической Кривой Кузнецца и эффект «гавани для загрязнений» для развивающихся стран. **Выводы/значимость.** По полученным результатам сформулированы рекомендации для улучшения экологической политики на национальном и международном уровне. **Применение.** Эмпирические оценки параметров эффективности экологической политики обеспечивают руководящие и контролирующие органы необходимой информацией для устойчивого контроля и управления уровнем загрязнений.

Ключевые слова: выбросы CO₂, защита окружающей среды, расходы государства на экологию, государственная экологическая политика, экологическая кривая Кузнецца, «гавань для загрязнений».

The impact of government environmental protection policy on CO₂ emissions

Elena A. Trofimova, Cand. of Sci. (Econ.)

<https://orcid.org/0000-0002-6946-5098>; SPIN-code (RSCI): 4849-9349

e-mail: elena.Trofimova@urfu.ru

Evgeniya V. Lapteva, Master's Student

<https://orcid.org/0000-0002-1128-7700>

e-mail: evlapteva@edu.hse.ru

Nikita R. Muzafarov, Master's Student

e-mail: nrmuzafarov@edu.hse.ru

For citation

Trofimova E.A., Lapteva E.V., Muzafarov N.R. The impact of government environmental protection policy on CO₂ emissions // Market economy problems. – 2022. – No. 1. – Pp. 169-184 (In Russian).

DOI: <https://doi.org/10.33051/2500-2325-2022-1-169-184>

Abstract

The subject/topic. The article examines and evaluates the parameters of state policy aimed at regulating the state of the environment for different groups of countries. **Goals/Objectives.** The aim of the work is to study the impact of government policy measures on the volume of CO₂ emissions. **Methodology.** Authors studied and analyzed the trends in the state measures development in the field of environmental protection by groups of 30 developed and emerging countries for the period 2009-2018 and relevant scientific papers on the stated issues. In the empirical part of the study, models were built and evaluated to establish the relationship between CO₂ emissions and government spending on environmental protection, tax revenues from pollution, production of environmental services and a number of control variables. **The Results.** An N-shaped relationship between tax revenues from environmental pollution and CO₂ emissions was revealed, investments in environmental protection projects is significant for both groups of countries (they reduce emissions more strongly in developed economies), the hypothesis of the Kuznets Ecological Curve and the «pollution harbor» effect were confirmed for emerging countries. **Conclusions/significance.** Based on the results, authors formulated recommendations for improving environmental policy. **Application.** The empirical estimates of the environmental policy effectiveness parameters give the necessary information for sustainable control and management of pollution levels.

Keywords: CO₂ emissions, environmental protection, government ecological spending, government environmental policy, environmental Kuznets curve, «pollution harbor».

Введение

Состояние окружающей среды в стране является одним из ключевых факторов, влияющих на выживание и развитие человечества. Оценка параметров качества экологии крайне важна, поскольку она обеспечивает руководящие и контролирующие органы необходимой информацией для устойчивого контроля и управления уровнем экологических загрязнений. Несмотря на замедление скорректированных темпов роста выбросов некоторых парниковых газов, ускорение темпов роста выбросов углекислого газа в результате изменения земного покрова сигнализирует о наличии критических пробелов в политике, актуализируя поднятую в текущем исследовании тему.

На сегодняшний момент можно говорить о том, что наибольшая озабоченность состоянием экологии проявляется в странах с развивающейся экономикой, поскольку расходы этих государств на защиту окружающей среды растут пропорционально увеличению объема загрязнений в них (рисунок 1). При этом с 2013 года выбросы CO₂ в развивающихся экономиках стали превышать выбросы в развитых странах, и данная тенденция является устойчивой на протяжении последующих лет.

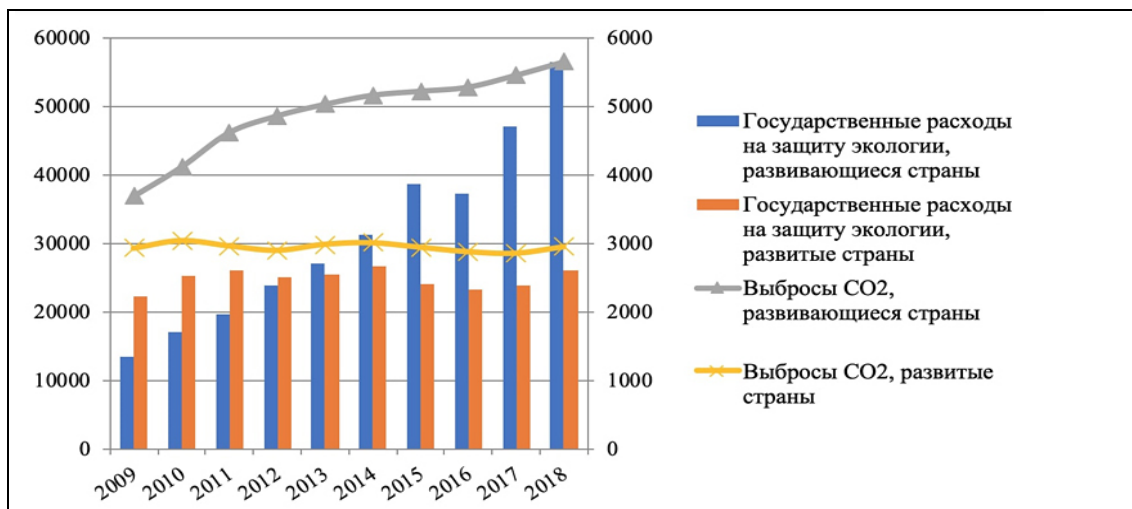


Рис. 1. / Fig. 1. Динамика выбросов CO₂ (метрические тонны, правая ось) и государственных расходов на охрану окружающей среды (млн. долл. США, левая ось) по группам стран (средние показатели взвешены по ВВП) / Trends in CO₂ emissions (metric tons, right axis) and public spending on environmental protection (US\$ million, left axis) by country group (GDP-weighted averages)

Очевидно, что для эффективного контроля над выбросами загрязняющих веществ необходимо понимать факторы, которые на них влияют. Данное исследование вносит вклад в многогранную научную дискуссию о наиболее значимых факторах, определяющих объемы выбросов CO₂, среди которых наибольшее внимание уделяется переменным, преимущественно связанным с государственным участием, таким как расходы государства на защиту окружающей среды, налоги на загрязнения, производство услуг сектора государственного управления по охране окружающей среды по 30 странам мира за период 2009-2018 гг.

Целью исследования является изучение влияния мер государственной политики на объем выбросов CO₂.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработка и реализация экологической политики на основе эмпирически выявленных закономерностей играют важную роль в сокращении выбросов углерода и контроле над изменением климата.

Методы

Предметом исследования является государственная политика, направленная на борьбу с загрязнением экологии. Основная гипотеза заключается в том, что меры государственной политики в области охраны окружающей среды отрицательно влияют на объем загрязнений.

Методологическая база исследования включает в себя статистические и эконометрические методы регрессионного анализа, среди которых обобщенный и двухшаговый метод наименьших квадратов (метод инструментальных переменных), обобщенный метод моментов.

Объектами пространственной компоненты выступают 30 стран, формирующих две группы – развитые и развивающиеся.

К первой группе относятся: Германия, Франция, Италия, Испания, Швейцария, Швеция, Дания, Словакия, Ирландия, США, Великобритания, Норвегия, Финляндия, Исландия, Нидерланды.

Во вторую группу вошли: Россия, Латвия, Турция, Греция, Румыния, Польша, Венгрия, Португалия, Украина, Белоруссия, Вьетнам, Китай, Бразилия, ОАЭ, Индия.

Период наблюдения включает десятилетний промежуток 2009–2018 гг. Таким образом, для тестирования на основе регрессионного метода на панельных данных имеется 300 наблюдений (по 30 странам за 10 лет).

Обзор литературы

Основным фактором, ставшим преградой для исследований взаимоотношений человека и окружающей среды, является нехватка соответствующих аналитических методов и моделей, которые позволяют точно определить функциональную форму зависимости между антропогенными факторами и их влиянием на окружающую среду. Чтобы глубже понять фундаментальные движущие силы, воздействующие на состояние экологии, рассмотрим ряд существующих теоретических моделей, кратко представленных в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Теоретические модели для оценки факторов экологических загрязнений / Theoretical models for assessing environmental pollution factors

Название	Модель	Факторы	Литература
Тождество IPAT	$I = P \times A \times T$	I – уровень воздействия загрязняющих веществ на экологию; P – численность населения; A – доход (ВВП на душу населения); T – технологии.	Raskin, P.D. (1995); York, R. et al. (2002).
Тождество ImPACT	$I = P \times A \times C \times T$	C – потребление энергии на единицу ВВП; T – выбросы CO ₂ на единицу потребления энергии.	Waggoner, P.E. and Ausubel, J.H. (2002).
Экологическая кривая Кузнеця	$Y_{it} = \alpha_1 + B_1 X_{it} + B_2 X_{it}^2 + B_3 X_{it}^3 + B_3 Z_{it} + e_{it}$	Y – уровень деградации окружающей среды; X – доход государства (чаще – ВВП); Z – вектор контрольных переменных.	Dinda, S. (2004).

Согласно первым двум моделям, выраженным математическими тождествами, уровень воздействия загрязняющих веществ на экологию определяется за счет мультипликативного эффекта нескольких факторов – численности населения, уровня доходов, развития технологий, потребления энергии, выбросов. Каждая из этих взаимосвязей укладывается в экологические принципы. Однако в основе моделей лежит допущение, что при наличии данных об известных параметрах можно с точностью вычислить значения других факторов. Такая строгая математическая зависимость значительно ограничивает исследователей в проверке гипотез на эмпирических данных.

Поэтому стали появляться некоторые концепции, которые могут быть подчинены эконометрической проверке. Одна из наиболее распространенных – Экологическая Кривая Кузнеця, которая определяет, что экономический рост сначала приводит к существенному ухудшению качества окружающей среды, после чего наступает момент в развитии государства, меняющий эту зависимость на противоположную, когда дальнейший экономический рост вызывает улучшение состояния окружающей среды. Для подтверждения гипотезы о

существовании ЭКК (перевернутой U-образной взаимосвязи) необходимо, чтобы выполнялись следующие соотношения для коэффициентов модели: $B_1 > 0$, $B_2 < 0$ и $B_3 = 0$ (Dinda, 2004).

Некоторые ученые – такие как S. Vimonte и A. Stabile (2017), R. Ulucak и F. Bilgili (2018) – считают, что ЭКК действительно существует; однако в ходе иных эмпирических исследований, например, у V.C. Govindaraju и C.F. Tang (2013), было показано, что значимой перевернутой U-образной взаимосвязи между доходом на душу населения и загрязнением окружающей среды нет (Vimonte and Stabile, 2017; Ulucak and Bilgili, 2018; Govindaraju and Tang, 2013). Более того, ряд ученых доказывали иную форму зависимости: J. Golley и X. Meng (2012), опираясь на данные статистики по Китаю, обнаружили, что связь между выбросами CO_2 на душу населения и ВВП на душу населения имеет N-образную форму, что позволило им выдвинуть предположение об отсутствии поворотной точки в динамике выбросов CO_2 (Golley and Meng, 2012).

В качестве альтернативы обычному подходу к анализу ЭКК, основанному на доходах/выпуске, в ряде исследований предпринимается попытка установления зависимости в терминах расходов, в частности, выявления роли расходов различных экономических агентов (домохозяйств, фирм и правительств) в образовании выбросов углерода. Наиболее показательной работой в этом отношении является труд R. Lopez et al. (2011), где авторы приходят к выводу о том, что перераспределение структуры государственных расходов в пользу социальных и общественных благ снижает загрязнение, однако верно и обратное – увеличение общих государственных расходов без изменения их структуры не стимулирует сокращения выбросов (Lopez, Galinato and Islam, 2011).

С точки зрения государственного участия в вопросах деятельности по защите окружающей среды, для успешного улучшения качества экологии важными параметрами могут быть не только экономические и институциональные факторы, но и меры политики правительства в отношении загрязнений. Экологическое регулирование как категория включает в себя средства, механизмы и действия, принятые для контроля и влияния на поведение целевых групп в области защиты окружающей среды.

Выполнение обязанностей местного правительства по экологическому регулированию в основном достигается за счет экологического законодательства, обеспечения соблюдения экологических норм и экологических инвестиций (Li, Ge and Hao, 2021). Многие исследования прошлого десятилетия, развивая эту тему, показали, что государственные расходы являются важным фактором, определяющим качество окружающей среды (Zhang, He and Pan, 2017). Несмотря на доказанные положительные эффекты в вопросах борьбы с выбросами, государственные расходы на экологические проекты могут иметь и побочные отрицательные последствия, которые необходимо учитывать при разработке мер государственной политики. Данный вопрос начал активно продвигаться в научном сообществе в последнее время. Одной из наиболее свежих работ выступает исследование X. Pan и H. Xu (2020) (Pan, Xu, Li, Zong, Lee, and Lu, 2020). Доказывая, что увеличение государственных расходов на экологическое руководство не может снизить потребление энергии и выбросы в регионах выборки, авторы также обнаруживают косвенные эффекты: шок расходов на охрану окружающей среды оказывает значительное негативное влияние на потребление, инвестиции и накопление основного капитала в регионе, при этом стимулирует уровень потребления и инвестиций во внешних регионах.

Такие факторы, как действия местных органов власти по борьбе с загрязнениями, эффективность управления и контроля над деятельностью должностных лиц, восприятие власти местным сообществом не менее сильно влияют на экономику и качество экологии в регионе. В части работ доказывается, что реформы в отношении экологического регулирования оказывают положительное влияние на экономический рост, поскольку смещение налогового бремени с таких статей как доходы и инвестиции на загрязнение, отходы и истощение ресурсов может привести к «двойным дивидендам», то есть улучшению качества окружающей среды в

сочетании с экономической выгодой (Jeffords and Minkler, 2016). Доходы, полученные от экологических налогов, могут быть использованы для сокращения налогов на капитал и, таким образом, вызвать положительные последствия для занятости и инвестиций и, следовательно, для экономического роста.

С другой стороны, также существуют исследования в этой области, которые показывают противоречивое влияние уровня экологического налога на экономический рост. Например, Т. Оно (2003) демонстрирует, что в долгосрочной перспективе экологическое налогообложение оказывает два противоположных эффекта на экономический рост (Ono, 2003). Когда ставка налога высока, фирмы меньше загрязняют, что приводит к более высокому качеству окружающей среды, передаваемому будущим поколениям. Они, в свою очередь, могут направить большую часть своих ресурсов на сбережения (и инвестиции), а не на мероприятия по борьбе с загрязнением, что увеличивает накопление производственного капитала, а затем и экономический рост. Справедливо и то, что более высокие налоги ложатся тяжелым бременем на фирмы, которые в жестких фискальных условиях вынуждены сокращать заработные платы своих работников и, соответственно, налоги, уплачиваемые государству. Этот отрицательный эффект вызывает уменьшение частных сбережений и инвестиций, тем самым снижая темпы экономического роста.

Все предложенные исследования можно также классифицировать по пространственным объектам – странам или группам стран, в отношении которых ведется эмпирический анализ. Наиболее распространенные направления исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

География пространственных объектов исследования при изучении детерминант выбросов CO₂ / Research objects geography in the study of CO₂ emissions determinants

Уровень исследования (по группам изучаемых стран)	Релевантная литература
Общемировой	Sharma, S.S. (2011); Adewuyi, A. (2016)
Региональный	БРИК Pao, H.T. and Tsai, C.M. (2011)
	ОЭСР Hassan, M., Oueslati, W. and Rousselière, D. (2020)
	G20 Lee, J.W. (2013)
	Европа Acaravci, A. and Ozturk, I. (2010)
	НИС (новые индустриальные страны) Hossain, M. (2011)
	Малые открытые экономики Friedl, B. and Getzner, M. (2003)
Страновые исследования	Китай Lihua, W. and Tianshu, M. et al. (2020); Pan X., Li, M., Guo, S. and Pu, C. (2020)
	США Soytas, U., Ewing, B. and Sari, R. (2007)
	Индия Acharyya, J. (2009)
	Индонезия Shahbaz, M., Sbia, R., Hamdi, H. and Ozturk, I. (2014)
	Бразилия Pao, H. and Tsai, C.M. (2011)
	Россия Земцов, С.П., Баринова, В.А., Ланьшина, Т.А. и Кидяева, В.М. (2020)
	Канада Hamit-Hagggar, M. (2012)
	ОАЭ Shahbaz, M., Mallick, H., Mahalik, M.K. and Loganathan, N. (2015)

Из представленного обзора литературы видно, что исследований на мировом уровне, которые позволили бы обобщить и сравнить результаты по отдельным группам стран, мало, а представленные такого рода работы дают весьма противоречивые оценки. Более того, интерес к оценке государственных расходов по защите окружающей среды, а также налогов на загрязнения начал возникать сравнительно недавно, что обуславливает недостаточную проработанность данного вопроса. Именно этот пробел призвано закрыть текущее исследование.

Результаты

Зависимой переменной текущего исследования выступают выбросы CO₂.

Благодаря доступности и точности данных, в работе используются два показателя для измерения строгости экологических норм с точки зрения государственного участия: расходы государства на проекты по защите окружающей среды и налоги на загрязнения. Добавленная стоимость в обрабатывающей промышленности (ДСОП) как доля валового внутреннего продукта включается в исследование с целью оценить значимость производственного сектора в совокупных выбросах CO₂. Интерес также представляет показатель доли используемых сельскохозяйственных площадей (процент площадей, занятых органическим сельским хозяйством) как индикатор аграрного незагрязняющего сектора, противоположного по эффектам непосредственно производству.

Степень открытости экономики (сумма экспорта и импорта), а также объем прямых иностранных инвестиций свидетельствует об участии государства в общемировых торговых потоках, а кроме того готовности размещать на своей территории многочисленные промышленные производства, распространение которых влияет на выбросы CO₂. ВВП на душу населения включается в исследование для проверки гипотезы существования экологической кривой Кузнеца (ЭКК) на представленной выборке стран. Показатель качества государственного регулирования (индекс, оцениваемый по методике The World Bank) косвенно представляет эффективность контролирующих органов по надзору за исполнением проектов, в числе которых проекты по защите окружающей среды, и потому является важным индикатором в определении масштаба загрязнений. Объем использования альтернативных источников энергии и объем производства высокотехнологичных продуктов потенциально определяют способность страны к выработке и внедрению малозагрязняющих технологий. В качестве контрольных переменных в исследование включается также совокупное производство услуг по охране окружающей среды и плотность населения.

Все перечисленные факторы с предположительными гипотезами о влиянии и источниками данных представлены в таблице 3.

Таблица 3 / Table 3

Переменные эконометрической модели: интерпретация и источники данных / Econometric model variables: interpretation and data sources

Наименование переменной	Описание	Единицы измерения	Гипотеза о влиянии	Источники данных
CO ₂	Объем выбросов оксида углерода	Метрические тонны	–	Global Carbon Atlas Databank
EPE	Сумма всех государственных расходов на защиту экологии	Млн. долларов США	Отрицательно	OECD Eurostat Statista
Openess	Открытость экономики (сумма экспорта и импорта)	Млн. долларов США	Положительно или отрицательно	The World Bank
Popul_density	Плотность населения	Чел./кв.м.	Положительно	The World Bank
Env_taxes	Доля налоговых поступлений от загрязнений в бюджете государства	% от суммы всех налоговых поступлений	U-образная зависимость	OECD/IEA Statistics Eurostat Business Formation Statistics
GDPpc	ВВП на душу населения	Доллары США	Перевернутая U-образная связь	The World Bank
FDI	Прямые зарубежные инвестиции	Млн. долларов США	Положительно	The World Bank
Farm_area	Площадь под органическим сельским хозяйством	% от используемых сельскохозяйственных площадей	Отрицательно	The World Bank
PEPS	Производство услуг по охране окружающей среды	Млн. долларов США	Отрицательно	Европейская комиссия
Gov_ind	Качество государственного регулирования	Индекс	Отрицательно	Worldwide Governance Indicators
Manufact	Добавленная стоимость в обрабатывающей промышленности (ДСОП) как доля валового внутреннего продукта	%	Положительно	The World Bank
ANE	Доля альтернативной и атомной энергии в общем объеме использованной энергии		Отрицательно	The World Bank
H_TE	Экспорт высокотехнологичных товаров	Доллары США	Отрицательно	The World Bank

В рамках эмпирического исследования авторы проверяют следующие гипотезы:

Гипотеза 1 – инвестиции в проекты по защите экологии оказывают значимое воздействие на выбросы CO₂ в развитых странах и не влияют на уровень загрязнения в развивающихся странах ввиду слабоэффективного государственного регулирования и контроля в них.

Гипотеза 2 – растущая доля налоговых поступлений от загрязнения экологии в доходной части бюджета государства лишь до определенного уровня является фактором снижения выбросов CO₂, после чего наступает обратный эффект.

Поскольку исследовательские гипотезы предполагают необходимость сравнения разных групп стран, то в дальнейшей части исследования вводятся две фиктивных переменных dEM и dDE, которые отражают принадлежность страны к группе развивающихся (Emerging Markets) или развитых (Developed Economics) стран. В модель данные переменные вводятся в виде составных частей некоторых других факторов с целью учета их совместного влияния на зависимую переменную.

Дескриптивные статистики переменных представлены в таблице 4. Согласно полученным значениям, распределения многих эконометрических величин имеет асимметрию (например, левостороннее распределение – переменная Gov_ind, остальные – правостороннее). Переход к логарифму позволяет ее уменьшить. Поэтому для построения регрессионной модели будем работать с логарифмами переменных CO₂, EPE, Openess, Popul_density, PEPS, H_TE.

Таблица 4 / Table 4

Описательные статистики переменных / Summary statistics of variables

Переменная	Число набл.	Среднее	Станд. откл.	Мин	Макс	Коэф. вариации	Асимметрия	Экссесс
CO2	300	780	1910	3	9957	3647028	3.59284	15.5
EPE	300	13926	19702	9	97638	3.88e+08	1.98136	6.3
Openess	300	874186	1169773	11647	5658714	1.37e+12	2.36553	8.1
Popul_den	300	128	118	3	512	13906.87	1.59560	5.3
Env_tax	300	8	3	1	20	7.798279	1.01747	4.9
GDPpc	300	31453	23878	1102	102914	5.70e+08	0.67582	2.7
FDI	300	25985	74692	-412780	332071	5.58e+09	0.61773	13.7
PEPS	300	4674	6031	3	20192	3.64e+07	1.29288	2.9
Farm_area	300	30	23	1	72	534.3363	0.29520	1.5
Manufact	300	15	5	6	34	29.55688	1.17469	4.6
Gov_ind	300	173	224	-43	818	50048.34	0.96927	2.5
ANE	300	15	13	0	50	172.3095	0.92260	2.7
H_TE	300	50423	113295	95	731891	1.28e+10	4.09321	20.9

Первым шагом, предвосхищающим оценивание модели эконометрическими методами анализа, с целью исключения лишних переменных проводится процедура отбора регрессоров, основанная на попеременном включении факторов в модель и поиске наиболее адекватной регрессии по расчетному коэффициенту детерминации. Результаты свидетельствуют о том, что наилучшая спецификация имеет вид, представленный уравнением (1):

$$\begin{aligned}
 lCO2_{it} = & \beta_0 + \beta_1 EPE_{it} \times dEM + \beta_2 EPE_{it} \times dDE + \beta_3 lOpeness_{it} + \beta_4 lPopul_{den}_{it} \\
 & + \beta_5 Env_tax_{it} + \beta_6 GDPpc_{it} + \beta_7 GDPpc2_{it} + \beta_8 GDPpc3_{it} + \beta_9 FDI_{it} \times dEM \\
 & + \beta_{10} FDI_{it} \times dDE + \beta_{11} PEPS_{it} + \beta_{12} Farm_area_{it} + \beta_{13} Manufact_{it} \\
 & + \beta_{14} Gov_ind_{it} + \beta_{15} ANE_{it} + \beta_{16} lH_TE_{it} + \varepsilon_i
 \end{aligned}$$

Для учета панельной структуры данных, в исследовании рассматриваются: регрессия с детерминированными эффектами независимых переменных, когда предполагается, что все факторы модели неслучайны (FE) и регрессия со случайными эффектами переменных, улавливающая индивидуальные различия рассматриваемых стран (RE).

Наилучшая модель выбиралась на основании результатов триады тестов: теста Вальда, Бройша-Пагана и Хаусмана. Таким образом, авторы пришли к тому, что наиболее адекватной является регрессия с детерминированными эффектами (FE). Тестом Вальда также было выявлено наличие межгрупповой гетероскедастичности, а тест Вулдриджа указал на серийную автокорреляцию в панели. Исправление стандартных ошибок при наличии обеих вышеуказанных проблем осуществляется использованием устойчивых (робастных) стандартных ошибок. Мы корректируем ошибки в форме Driscoll & Kraay (коэффициенты модели остаются прежними) и получаем больше значимых регрессоров. Оценки коэффициентов представлены в таблице 5.

Дальнейшие эксперименты со спецификацией для учета неизмеримых индивидуальных различий рассматриваемых объектов позволили получить адекватную модель со случайными эффектами переменных (RE) не в логарифмической форме, а в абсолютных значениях. Таким образом, альтернативная спецификация регрессии стала иметь форму, представленную уравнением (2):

$$\begin{aligned} CO2_{it} = & \beta_0 + \beta_1 EPE_{it} \times dEM + \beta_2 EPE_{it} \times dDE + \beta_3 Openess_{it} + \beta_4 Popul_den_{it} \\ & + \beta_5 Env_tax_{it} \times dEM + \beta_6 Env_tax_{it} \times dDE + \beta_7 GDPpc_{it} + \beta_8 GDPpc2_{it} \\ & + \beta_9 GDPpc3_{it} + \beta_{10} FDI_{it} \times dEM + \beta_{11} FDI_{it} \times dDE + \beta_{12} PEPS_{it} \\ & + \beta_{13} Farm_area_{it} + \beta_{14} Manufact_{it} + \beta_{15} Gov_ind_{it} \\ & + \beta_{16} ANE_{it} + \beta_{17} H_TE_{it} + \varepsilon_i \end{aligned}$$

Ввиду наличия гетероскедастичности и серийной автокорреляции в модели со случайными эффектами используются кластерные стандартные ошибки, отраженные в таблице 5. Выявленная с помощью теста Durbin-WU-Hausman проблема эндогенности ограничивает спектр доступных методов эконометрической оценки, делая коэффициенты, оцененные OLS и GLS несостоятельными. Поэтому для получения правдоподобных оценок далее применяются обобщенный метод моментов (GMM) и метод инструментальных переменных (IV), оценки на основании которых также приведены в таблице 5. В качестве валидных и сильных инструментальных переменных использовались лагированные значения эндогенных переменных (вторые лаги).

Таблица 5 / Table 5

Сравнение результатов оцененных моделей / Comparison of the model results

Переменные/ модель	FE (OLS, Drisc/Kraay Std. Err.) (1)	RE (GLS, Cluster Std. Err.) (2)	2SLS-FE (3)	GMM (4)
Зависимая переменная	ICO2	CO2	ICO2	CO2
EPE*dEM	1,17e-06	0,0037	-7,17e-07	-0,0060***
EPE*dDE	-4,73e-06**	-0,0093*	-3,45e-06	-0,0037**
Openess	–	0,0001**	–	0,0002***
IOpeness	0,0212	–	0,0751*	–
Popul_den	–	0,3728	–	-1,5043***
IPopul_den	0,7984***	–	0,6908**	–
Env_tax*dEM	0,0020	15,6879	0,0039	23,8781***
Env_tax*dDE	0,0080	10,6407	0,0080	26,0048***
GDPpc	0,00003***	-0,0092	0,00002*	-0,0088*
GDPpc2	-4,63e-10***	8,48e-08	-2,83e-10*	-3,97e-09
GDPpc3	2,30e-15***	-2,87e-13	1,49e-15*	4,16e-13

Переменные/ модель	FE (OLS, Drisc/Kraay Std. Err.) (1)	RE (GLS, Cluster Std. Err.) (2)	2SLS-FE (3)	GMM (4)
FDI*dEM	4,51e-07**	0,0020**	-1,13e-07	0,0013***
FDI*dDE	1,30e-08	0,0001	3,11e-08	0,0001**
PEPS	2,26e-06	0,0063	7,19e-06	0,0161***
Farm_area	0,0017**	3,1682	0,0021	1,6742*
Manufact	0,0027	-1,8634	0,0041	19,2074***
Gov_ind	0,0005***	-0,04457	0,0003**	-0,0516
ANE	-0,0005	-0,7976	0,00004	-2,0859***
H_TE	0,0176	0,0049**	–	-0,0003***
IH_TE	0,5816*	–	0,0042	–
Cons	0,0176	414,5109	0,3342	-123,0348
L1.CO2		–		0,8905***
Количество наблюдений	300	300	240	270
R ²	0,2699	–	0,2048	–
Prob > F	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Примечание / Note: * – 10% уровень значимости, ** – 5% уровень значимости, *** – 1% уровень значимости. / * – 10% significance level, ** – 5% significance level, *** – 1% significance level.

Обсуждение результатов

Что касается качественных выводов по полученным результатам оценивания регрессии, видно, что каждая из четырех моделей является значимой ($\text{Prob} > F = 0$). Непосредственно сравнивать мы можем регрессии (1) и (3) ввиду их одинаковых спецификаций, при этом несмотря на то, что модель с фиксированными эффектами устраняет смещение гетерогенности, остается еще смещение, вызванное эндогенностью, которое элиминируется с помощью двухшагового метода наименьших квадратов (2SLS-FE). Данный метод позволил получить больше значимых коэффициентов, при этом направление и сила их влияния остаются сопоставимыми.

С помощью двухшагового МНК подтверждается гипотеза экологической кривой Кузнеця (ЭКК): оцененные коэффициенты при GDPpc , GDPpc^2 и GDPpc^3 в модели (3) характеризуются свойствами $B_1 > 0$, $B_2 < 0$ и $B_3 \approx 0$, свидетельствующими о перевернутой U-образной взаимосвязи. Наряду с этим, значимыми являются такие факторы как плотность населения, эффективность государственного управления и использование альтернативных источников энергии. Охарактеризовать выявленные эмпирические взаимосвязи можно следующим образом:

– при увеличении плотности населения на 1% выбросы CO_2 увеличиваются на 0,6908%. Данный вывод согласуется со многими уже ранее выявленными и эмпирически подтвержденными закономерностями;

– рост качества государственного управления на 1 приводит к увеличению выбросов в $e^{0,0003}$ раз или на 0,03%. Поскольку рассматриваемый индикатор государственной эффективности является составным индексом и опосредованно охватывает в том числе рост экономики страны, который зачастую сопровождается укрупнением и расширением промышленных производств, то полученная закономерность, хоть и не является устойчивым фактом, всё же опирается на вполне логичные причинно-следственные связи.

Более значимые результаты, позволяющие ответить на многие исследовательские вопросы, дает регрессия (4), оцененная обобщенным методом моментов, который также устраняет проблему эндогенности, делая оценки коэффициентов при переменных состоятельными. В результате были выявлены следующие закономерности:

– увеличение государственных расходов на защиту экологии в развивающихся странах на 1 млн. долларов США приводит к сокращению выбросов углекислого газа на 0,006 метрических тонн, в то время как в развитых странах сопряжен с сокращением выбросов CO_2

на 0,0037 метрических тонн. Таким образом, первая гипотеза подтверждается лишь частично: согласно полученным оценкам, инвестиции в проекты по защите окружающей среды значимы для обеих групп стран, однако сила влияния данного фактора оказывается различной;

– рост уровня открытости экономики на 1 млн. долларов США приводит к увеличению выбросов CO₂ на 0,0002 метрических тонн. Данный вывод согласуется с заключениями предшествующих исследователей и предопределяет разумность заключения о переносе загрязняющих производств в более зависимые от торговли страны;

– вытекающая из вышеописанной закономерности гипотеза «гавани для загрязнения» находит подтверждение на протестированных данных: прирост прямых зарубежных инвестиций на 1 млн. долларов США приводит к росту объема загрязнений на 0,0013 метрические тонны в год в развивающихся странах и на 0,0001 метрические тонны в развитых экономиках;

– наращивание использования альтернативных источников энергии на 1% от общего объема энергии приводит к снижению выбросов на 2,0859 метрические тонны;

– положительно и наиболее сильно на объем выбросов влияет уровень налоговых поступлений в бюджет от загрязнения экологии, свидетельствуя о том, что налоговые платежи на загрязнения воспринимаются управляющими промышленных производств как легитимная плата за право эти загрязнения осуществлять;

– логичной является закономерность в отношении переменной, отражающей долю добавленной стоимости в обрабатывающей промышленности (ДСОП) в ВВП: при росте данного показателя на 1% объем загрязнений увеличивается на 19,2074 метрические тонны в год;

– положительно с объемом загрязнения связаны также показатели площади сельскохозяйственных угодий, что не согласуется с первичной гипотезой авторов в отношении данного фактора, отраженной в таблице 1.

Для проверки Гипотезы 2 о выполнении U-образной зависимости между выбросами CO₂ и налоговыми поступлениями строится дополнительная регрессия (уравнение 3), куда включаются квадраты и кубы переменной, отвечающей за долю налоговых поступлений от загрязнений в ВВП страны. Это позволяет установить форму зависимости между интересующими переменными (как в случае экологической кривой Кузнеца).

$$\begin{aligned} lCO2_{it} = & \beta_0 + \beta_1 EPE_{it} \times dEM + \beta_2 EPE_{it} \times dDE + \beta_3 lOpeness_{it} + \beta_4 lPopul_den_{it} \\ & + \beta_5 Env_tax_{it} + \beta_6 Env_tax2_{it} + \beta_7 Env_tax3_{it} + \beta_8 GDPpc_{it} + \beta_9 FDI_{it} \times dEM \\ & + \beta_{10} FDI_{it} \times dDE + \beta_{11} PEPS_{it} + \beta_{12} Farm_area_{it} + \beta_{13} Manufact_{it} \\ & + \beta_{14} Gov_ind_{it} + \beta_{15} ANE_{it} + \beta_{16} lH_TE_{it} + \varepsilon_i \end{aligned}$$

Методология по-прежнему соответствует ранее описанным шагам: сначала строится регрессии с фиксированными и случайными эффектами, затем соответствующими тестами определяется наиболее адекватная модель, в которой исправляются оценки с поправкой на гетероскедастичность и автокорреляцию (модель (1) таблицы 6). Проблема эндогенности исправляется использованием инструментальных переменных – вторых лагов эндогенных факторов (метод 2SLS – модель (2) таблицы 6), при этом направление и форма зависимости в обеих регрессиях оказываются одинаковыми, что подтверждает устойчивость эффекта от налоговых поступлений.

Таблица 6 / Table 6

**Результаты оценивания регрессий для проверки Гипотезы 2 /
Results of regression evaluation to test Hypothesis 2**

Переменные/ модель	FE (Drisc/Kraay Std. Err.) (1)	2SLS-FE (2)
Зависимая переменная	1CO2	
EPE*dEM	1,99e-06**	-4,75e-06
EPE*dDE	-4,07e-06**	-5,79e-06
lOpeness	0,0804**	0,0959**
lPopul_den	0,4632**	0,4215
Env_tax	0,0998***	0,0704**
Env_tax2	-0,0122***	-0,0084**
Env_tax3	0,0004***	0,0003**
GDPpc	-4,21e-07	7,06e-07
FDI*dEM	3,74e-07	-6,94e-07
FDI*dDE	-2,15e-08	2,34e-08
PEPS	1,93e-06	0,00002
Farm_area	0,0021**	0,0016
Manufact	-0,0014	0,0013
Gov_ind	0,0003**	0,0003**
ANE	-0,0022	-0,0012
IH_TE	0,0021	-0,0132
Cons	1,690**	1,7060
Количество наблюдений	300	240
R ²	0,2620	0,2056
Prob > F	0,0000	0,0000

Примечание / Note: * – 10% уровень значимости, ** – 5% уровень значимости, *** – 1% уровень значимости. / * – 10% significance level, ** – 5% significance level, *** – 1% significance level.

Таким образом, на основании выявленных значимых коэффициентов при налоговой переменной можно заключить, что наблюдается N-образная взаимосвязь между налоговыми поступлениями от загрязнения экологии и выбросами CO₂. Поскольку Гипотеза 2 предполагала присутствие U-образной зависимости между данными переменными, то она не находит подтверждение. Однако при рассмотрении гипотезы на разных группах стран путем добавления ранее уже упомянутой дамми-переменной в группе развивающихся стран действительно обнаруживается предполагаемый U-образный эффект – сначала при росте доли налоговых поступлений выбросы снижаются, а затем начинают расти (об этом свидетельствуют знаки при значимых коэффициентах рассматриваемой переменной).

На основании эмпирического исследования резюмируем полученные выводы. Во-первых, гипотеза о том, что инвестиции в проекты по защите экологии значимы только для развитых стран подтвердилась лишь частично: согласно полученным оценкам, инвестиции в проекты по защите окружающей среды значимы для обеих групп стран, однако сила влияния данного фактора оказывается различной. Во-вторых, гипотеза об U-образной зависимости между налоговыми поступлениями и выбросами CO₂ подтверждена только на группе развивающихся стран, в целом для выборки характерно наличие более сложной – N-образной – взаимосвязи. В то же время выполняются гипотезы экологической кривой Кузнеца и «гавани для загрязнений».

Заключение

В ходе представленного исследования на основании данных о количестве выбросов CO₂ в группах развитых и развивающихся стран были изучены состояние и тенденции развития комплекса государственных мер в области защиты окружающей среды. На основе теоретического обзора в эмпирической части исследования были построены и оценены модели,

позволяющие установить зависимость между выбросами CO₂ и такими показателями как расходы государства на защиту экологии, налоговые поступления от загрязнений, производство услуг по охране окружающей среды. Среди методов оценивания регрессий авторы применяют обобщенный метод моментов, обыкновенный, двухшаговый и обобщенный метод наименьших квадратов. На основании полученных оценок коэффициентов делаются выводы об абсолютной или частичной правильности выдвинутых гипотез.

С точки зрения полученных результатов можно выделить следующие рекомендации для улучшения экологической политики в исследуемых странах:

– ввиду значимости и высокого положительного коэффициента при переменной, отвечающей за производственную деятельность, и достаточно высокого отрицательного коэффициента при переменной, характеризующей использование альтернативных источников энергии, рекомендуется уделить особое внимание выбросам CO₂ от промышленных производств посредством выдачи субсидий тем предприятиям, которые внедряют в обеспечение своих процессов возобновляемые источники энергии;

– поскольку была выявлена U- и N-образная зависимость между долей налоговых поступлений в доходной части бюджета и загрязняющими выбросами, то говорить об абсолютной эффективности ужесточения налоговой политики можно лишь до определенного момента – пока уровень налога не достигнет предельного значения, превышение которого будет приводить к обратному эффекту. Поэтому рекомендуется создать внутристрановые контролируемые организации и внедрить альтернативные меры по ужесточению наказаний за нарушение «экологических» законов, а в случае отсутствия таковых провести реформы налогообложения в области использования электроэнергии;

– на международном уровне Международной комиссии по окружающей среде и развитию (WCED) рекомендуется ужесточить ответственность за нарушение экологической обстановки в странах.

В целом выявленные эконометрические закономерности и статистические тренды призваны дополнить новыми результатами дискуссию о значимых факторах экологических загрязнений, проблема которых столь остро стоит на повестке дня в последние десятилетия. Перспективным направлением дальнейших исследований является эмпирическая оценка порогового значения экономического развития региона или страны, по достижению которого фискальная и административная политика в области защиты окружающей среды становится эффективной/неэффективной.

Литература / References

1. Земцов, С.П., Барина, В.А., Ланшина, Т.А. и Кидяева, В.М. (2020), “Экологическая эффективность и устойчивое развитие регионов России за двадцатилетие сырьевого роста”, *Экономическая политика*, № 15 (2), с. 18-47. [Zemtsov, S.P. Barinova, V.A., Lanshina, T.A. and Kidyayeva, V.M. (2019), “Ecological efficiency and sustainable development of Russian regions over the twenty years of raw material growth”, *Economic policy*, no 15 (2), pp. 18-47].

2. Acaravci, A. and Ozturk, I. (2010), “On the relationship between energy consumption, CO2 emissions and economic growth in Europe”, *Energy*, vol. 35 (12), pp. 5412-5420.

3. Acharyya, J. (2009), “FDI, growth and the environment: evidence from India on CO2 emission during the last two decades”, *Journal of Development Economics*, vol. 34 (1), pp. 43-58.

4. Adewuyi, A. (2016), Effects of public and private expenditures on environmental pollution: A dynamic heterogeneous panel data analysis, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 65 (C), pp. 489-506.

5. Bimonte, S. and Stabile, A. (2017), “Land consumption and income in Italy: a case of inverted EKC”, *Ecological Economics*, vol. 131 (C), pp. 36-43.

6. Dinda, S. (2004), “Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey”, *Ecological Economics*, vol. 49 (4), pp. 431-455.

7. Friedl, B. and Getzner, M. (2003), “Determinants of CO2 emissions in a small open economy”, *Ecological Economics*, vol. 45 (1), pp. 133-148.

8. Golley, J. and Meng, X. (2012), "Income inequality and carbon dioxide emissions: the case of Chinese urban households", *Energy Economics*, vol. 34 (6), pp. 1864-1872.
9. Govindaraju, V.C. and Tang, C.F. (2013), "The dynamic links between CO2 emissions, economic growth and coal consumption in China and India", *Applied Energy*, vol. 104, pp. 310-318.
10. Grafton, R.Q. and Knowles, S. (2004), "Social Capital and National Environmental Performance: A Cross-Sectional Analysis", *The Journal of Environment & Development*, vol. 13 (4), pp. 336-370.
11. Hamit-Haggar, M. (2012), "Greenhouse gas emissions, energy consumption and economic growth: a panel cointegration Analysis from Canadian industrial sector perspective", *Energy Economics*, vol. 34 (1), pp. 358-364.
12. Hassan, M., Oueslati, W. and Rousselière, D. (2020), "Environmental taxes, reforms and economic growth: an empirical analysis of panel data", *Economic Systems*, vol. 44 (3).
13. Hossain, M. (2011), "Panel estimation for CO2 emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries", *Energy Policy*, vol. 39 (11), pp. 6991-6999.
14. Jeffords, C. and Minkler, L. (2016), "Do Constitutions Matter? The Effects of Constitutional Environmental Rights Provisions on Environmental Outcomes: Constitutions and the Environment", *Kyklos*, vol. 69 (2), pp. 294-335.
15. Lee, J.W. (2013), "The contribution of foreign direct investment to clean energy use, carbon emissions and Economic growth", *Energy Policy*, vol. 55 (C), pp. 483-489.
16. Li, J., Ge, T. and Hao, X. (2021), "Effects of public participation on environmental governance in China: A spatial Durbin econometric analysis", *Journal of Cleaner Production*, vol. 321.
17. Lihua, W. and Tianshu, M. et al. (2020), "Improvement of regional environmental quality: Government environmental governance and public participation", *Science of The Total Environment*, no. 717.
18. Lopez, R., Galinato, G.I. and Islam, F. (2011), "Fiscal spending and the environment: theory and empirics", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 62 (2), pp. 180-198.
19. Ono, T. (2003), "Environmental tax policy and long-run economic growth", *The Japanese Economic Review*, vol. 54 (2), pp. 203-217.
20. Pan, X., Li, M., Guo, S. and Pu, C. (2020), "Research on the competitive effect of local government's environmental expenditure in China", *Science of The Total Environment*, vol. 718.
21. Pan, X., Xu, H. Li, M., Zong, T., Lee, C.T. and Lu, Y. (2020), "Environmental expenditure spillovers: Evidence from an estimated multi-area DSGE model", *Energy Economics*, vol. 86 (C).
22. Pao, H. and Tsai, C.M. (2011), "Modeling and forecasting the CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil", *Energy*, vol. 36 (5), pp. 2450-2458.
23. Pao, H.T. and Tsai, C.M. (2011), "Multivariate Granger causality between CO2 emissions, energy consumption, FDI (foreign direct investment) and GDP (gross domestic product): evidence from a panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, and China) countries", *Energy*, vol. 36 (1), pp. 685-693.
24. Raskin, P.D. (1995), "Methods for estimating the population contribution to environmental change", *Ecological Economics*, vol. 15 (3), p. 225-233.
25. Shahbaz, M., Hye, Q.M., Tiwari, A.K. and Leitão, N.C. (2013), "Economic growth, energy consumption, financial development, international trade and CO2 emissions in Indonesia", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, no. 25, pp. 109-121.
26. Shahbaz, M., Mallick, H., Mahalik, M.K. and Loganathan, N. (2015), "Does globalization impede environmental quality in India?", *Ecological Indicators*, no. 52, pp. 379-393.
27. Shahbaz, M., Sbia, R., Hamdi, H. and Ozturk, I. (2014), "Economic growth, electricity consumption, urbanization and environmental degradation relationship in the United Arab Emirates", *Ecological Indicators*, no 45, pp. 622-631.
28. Sharma, S.S. (2011), "Determinants of carbon dioxide emissions: Empirical evidence from 69 countries", *Applied Energy*, vol. 88 (1), pp. 376-382.
29. Soytas, U., Ewing, B. and Sari, R. (2007), "Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States", *Ecological Economics*, vol. 62 (3-4), pp. 482-489.

30. Ulucak, R. and Bilgili, F. (2018), "A reinvestigation of EKC model by ecological footprint measurement for high, middle- and low-income countries", *Journal of Cleaner Production*, no. 188, pp. 144-157.

31. Waggoner, P.E. and Ausubel, J.H. (2002), "A framework for sustainability science: a renovated IPAT identity", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 99, no. 12, pp. 7860-7865.

32. York, R., Rosa, E.A. and Dietz, T. (2002), "Bridging environmental science with environmental policy: plasticity of population, affluence, and technology", *Social Science Quarterly*, vol. 83 (1), pp. 18-34.

33. Zhang, J. and Gao, Y. (2007), "Official tenure, off-site communication and economic growth: evidence from provincial experience", *Economic Research*, no 11, pp. 20-28.

34. Zhang, B., He, M. and Pan, H. (2017), "A study on the design of a hybrid policy for carbon abatement", *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, vol. 15 (1), pp. 50-57.

Об авторах

Трофимова Елена Александровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры финансов, денежного обращения и кредита, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург.

Лантева Евгения Витальевна, магистрант факультета экономических наук, ОП «Финансовые рынки и финансовые институты», Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва.

Музафаров Никита Рашидович, магистрант факультета экономических наук, ОП «Корпоративные финансы», Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

About authors

Elena A. Trofimova, Candidate of Sci. (Econ.), Associate Professor, Department of Finance, Monetary Circulation and Credit, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg.

Evgeniya V. Lapteva, Master's Student, Faculty of Economic Sciences, Program «Financial Markets and Financial Institutions», National Research University Higher School of Economics, Moscow

Nikita R. Muzafarov, Master's Student, Faculty of Economic Sciences, Program «Corporate Finance», National Research University Higher School of Economics, Moscow