

<https://doi.org/10.31063/2073-6517/2021.18-4.11>

УДК 330.34

JEL O1, O44, Q53

О. С. Мариев <sup>а)</sup>, Н. Б. Давидсон <sup>б)</sup>, И. А. Борзова <sup>в)</sup>

<sup>а, б, в)</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,  
Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>а)</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9745-8434>, o.s.mariev@urfu.ru

<sup>б)</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6779-9561>

<sup>в)</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9653-8248>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРБАНИЗАЦИИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ В РОССИЙСКИХ РЕГИОНАХ<sup>1</sup>

*На сегодняшний день становится очевидным, что загрязнение воздуха, происходящее в результате экономической деятельности, приводит к существенному ухудшению среды для жизни на Земле. Урбанизация, в свою очередь, будучи двигателем роста производства, несомненно, влияет на состояние атмосферы. В этом исследовании эмпирически оценивается влияние процесса урбанизации на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в регионах России в период 2001–2018 гг. на основе данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат). Таким образом, объектом исследования являются выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в регионах России, а предметом — влияние уровня урбанизации регионов России на выбросы. Регионы разделены на две группы по экспортной деятельности, что позволило определить влияние роста населения городов в регионах России с учетом особенностей их экономического развития. Также проверяется гипотеза о роли затрат на технологические инновации при одновременном процессе урбанизации. В работе использованы эконометрические методы оценивания на основе панельных данных. Результаты показали, что уровень урбанизации, рассчитанный как доля городского населения, положительно влияет на уровень выбросов загрязняющих веществ в атмосферу независимо от того, в какую группу попал регион. Рост затрат на технологические инновации с учетом процесса урбанизации в российских регионах ведет к снижению выбросов, что говорит, в частности, о важной роли совершенствования оборудования. Результаты исследования могут быть полезны для разработки экологической политики регионов.*

**Ключевые слова:** выбросы в атмосферу, экологическая кривая Кузнеца, урбанизация, модель STIRPAT, регионы России, экология

### Благодарность

*Исследование поддержано грантом Российского научного фонда (проект №19-18-00262 «Моделирование сбалансированного технологического и социально-экономического развития российских регионов»).*

**Для цитирования:** Мариев О. С., Давидсон Н. Б., Борзова И. А. Моделирование влияния урбанизации на загрязнение атмосферы в российских регионах // Журнал экономической теории. 2021. Т. 18. № 4. С. 627-641. <https://doi.org/10.31063/2073-6517/2021.18-4.11>

<sup>1</sup> © Мариев О. С., Давидсон Н. Б., Борзова И. А. Текст. 2021.

Oleg S. Mariev <sup>a)</sup>, Natalia B. Davidson <sup>b)</sup>, Irina A. Borzova <sup>c)</sup><sup>a, b, c)</sup> Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation<sup>a)</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9745-8434>, o.s.mariev@urfu.ru<sup>b)</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6779-9561><sup>c)</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9653-8248>

## The Impact of Urbanization on Atmospheric Pollution in Russian Regions

*The study discusses the impact of urbanization on the pollutant emissions into the atmosphere in Russian regions in 2001–2018 based on the data from the Federal State Statistics Service. The regions are divided into two groups by export activity, to determine the impact of urbanization on air pollution taking into account regional specialization. The study also tests the hypothesis that the costs of innovation play a role in the process of urbanization. Methodologically, the study relies on econometric methods based on the panel data. The results show that a rise in the level of urbanization, calculated as a proportion of the urban population, increases the level of pollutant emissions, regardless of which group the region falls into. The increased costs of technological innovations, on the contrary, lead to a reduction in the volume of emissions, which means that it is necessary to stimulate companies to invest more in equipment modernization. The results of the research can be useful for regional policy-makers.*

**Keywords:** air emissions, environmental Kuznets curve, urbanization, STIRPAT model, Russian regions, ecology

### Acknowledgements

*Research has been supported by the grant of the Russian Science Foundation (project No. 19-18-00262 “Empirical modelling of balanced technological and socioeconomic development in the Russian regions”).*

**For citation:** Mariev, O. S., Davidson, N. B. & Borzova, I. A. (2021). The Impact of Urbanization on Atmospheric Pollution in Russian Regions. *Zhurnal Ekonomicheskoy Teorii* [Russian Journal of Economic Theory], 18(4), 627–641. <https://doi.org/10.31063/2073-6517/2021.18-4.11>

### 1. Введение

В XX веке многие страны, в том числе Россия, были сосредоточены на экономическом росте, который сопровождался ростом валового внутреннего продукта (ВВП) за счет активного производства без должного внимания к возможным отрицательным внешним эффектам. Это повлекло за собой стремительное ухудшение состояния окружающей среды, в частности атмосферы, которое мы наблюдаем сегодня<sup>1</sup>.

В России власти работают над улучшением состояния окружающей среды. 7 мая 2018 г. в соответствии с Указом Президента РФ № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» (далее Указ) началась реализация национальных проектов. Президентом было определено 12 направлений, в рамках которых будут выполняться задачи, поставленные в Указе в период на 2019–2024 годы. Одним из них является «Экология», мероприятия в рамках которого направлены на защиту окружающей среды.

Одним из федеральных проектов является «Чистый воздух», который в настоящее время реализуется. Он направлен на улучшение экологической обстановки и снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный

воздух в 12 крупных промышленных центрах России. Однако пандемия коронавируса, которая началась в 2020 году, заставила увеличить временные рамки реализации национальных проектов — до 2030 года. В связи с этим был подписан новый Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», в рамках которого вышеупомянутый национальный проект продолжает реализовываться. Кроме того, Россия ратифицировала Парижское соглашение, направленное на удержание прироста глобальной средней температуры ниже 2 °C сверх доиндустриальных уровней и приложение усилий по ограничению роста температуры до 1,5 °C. Для выполнения этой стратегической цели страны стремятся к построению климатически нейтрального мира к середине XXI века. Усилия направлены и на улучшение состояния атмосферы, так как выбросы парниковых газов увеличивают среднюю температуру планеты (Zhu et al., 2012).

Социально-экономический прогресс отчасти связан с процессами урбанизации и, следовательно, с увеличением потребления энергии ввиду роста населения в городах. Урбанизация, очевидно, стала одним из драйверов роста загрязнения планеты, в том числе и загрязнения атмосферы углекислым газом, углеводородами, диоксидом серы, оксидом азота и другими соединениями. Такие вещества могут приводить к увеличению случаев респираторных заболе-

<sup>1</sup> Stiglitz J., Sen A. K. & Fitoussi J. P. The Measurement of Economic Performance and Social Progress Revisited: Reflections and Overview. 2009 // Крупнейшая библиографическая база данных по экономике IDEAS. URL: <https://ideas.repec.org/p/spo/wpmain/infodhd12441-516uh8ogmqildh09h4687h53k.html>.

Таблица 1  
Выбросы загрязняющих веществ от основных загрязнителей атмосферы (стационарные источники)  
за период 2017–2019 гг.\*

Вид экономической деятельности	Выбросы, млн тонн			Прирост, %
	2017	2018	2019	2019/2018
Добыча полезных ископаемых, в т. ч.:	4,9	4,9	5,0	+2,0
добыча угля	1,1	0,9	1,3	+44,4
добыча сырой нефти и природного газа	2,6	2,3	2,4	+4,3
добыча металлических руд	0,4	0,5	0,5	0
Обрабатывающие производства в т. ч.:	5,8	3,8	5,9	+55,3
производство пищевых продуктов	0,1	0,1	0,2	+100
металлургическая промышленность	3,8	1,8	3,7	+105,6
производство прочих транспортных средств и оборудования	0,1	0,0	0,0	0

\* Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики «Экология и экономика: тенденция к декарбонизации» / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. URL: [https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/\\_%D0%BE%D0%BA%D1%82%D1%8F%D0%B1%D1%80%D1%8C\\_web.pdf](https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/_%D0%BE%D0%BA%D1%82%D1%8F%D0%B1%D1%80%D1%8C_web.pdf) (дата обращения: 10.02.2021).

ваний, нарушений развития нервной системы у детей и неблагоприятным исходам родов, как сообщает Всемирная организация здравоохранения. Если такая тенденция продолжится, то количество трудоспособных граждан будет уменьшаться, а темпы роста получения новых знаний об окружающем мире и, соответственно, экономического роста замедлятся. Вместе с тем следует отметить, что урбанизация может оказывать и положительное влияние, так как города привлекательны для высококвалифицированных специалистов, которые способны создавать новые технологии, в том числе и направленные на уменьшение выбросов.

Научных работ по российским регионам в рамках данной темы крайне мало, поэтому целью нашего исследования является определение влияния процесса урбанизации в регионах России на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. В исследовании ставятся две гипотезы. *Гипотеза 1*: уровень урбанизации влияет положительно независимо от типа региона (определяемого показателями доли чистого экспорта региона в общем торговом обороте по продукции топливно-энергетического комплекса или металлургической промышленности). *Гипотеза 2*: затраты на технологические инновации способствуют снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с учетом влияния урбанизации.

Статья состоит из следующих частей: введение; анализ особенностей и тенденций состояния окружающей среды и урбанизации в России; обзор литературы; методы анализа, данные и переменные; результаты исследования и рекомендации; заключение.

## 2. Особенности и тенденции состояния окружающей среды и урбанизации в России

В России рассматриваемая проблема актуальна, как и в других странах мира. При анализе объемов выбросов можно заметить, что за период 2010–2019 гг. снижения не наблюдается. Значения уровня выбросов колеблются в интервале 32–33 тыс. тонн каждый год, при этом стационарные источники производили больше выбросов, чем передвижные<sup>1</sup>.

Основными источниками загрязнения воздуха являются такие виды экономической деятельности, как обрабатывающие производства и добыча полезных ископаемых<sup>2</sup>. Рассмотрим подробнее ситуацию по этим двум видам на основе таблицы 1. Следует отметить, что в добывающей промышленности наибольший объем выбросов наблюдается при добыче сырой нефти и газа, а в обрабатывающем производстве — в металлургической промышленности.

В ходе анализа количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в России были выявлены 15 регионов, лидирующих по выбросам. Три из них особо выделяются — это Красноярский край, Тюменская и Кемеровская области. Среди лидеров по снижению выбросов следует отметить Краснодарский край

<sup>1</sup> «Основные показатели охраны окружающей среды» / Федеральная служба государственной статистики. URL: [https://gks.ru/bgd/regl/b\\_oxr19/Main.htm](https://gks.ru/bgd/regl/b_oxr19/Main.htm) (дата обращения: 18.05.2021).

<sup>2</sup> Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 год» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. URL: [https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/cf1/07\\_09\\_2020\\_M\\_P\\_O%20\(1\).pdf](https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/cf1/07_09_2020_M_P_O%20(1).pdf) (дата обращения: 2.03.2021)

и Республику Татарстан — за 2019 г. эти 2 региона снизили объем выбросов на 47,6 % и 26,4 % соответственно<sup>1</sup>. В частности, в Краснодарском крае такой успех связан с тем, что «...улавливается 48 % загрязняющих веществ, а 67 % загрязняющих веществ утилизируется, что является достаточно высоким показателем в России»<sup>2</sup>. Это говорит о важности совершенствования технологий; в нашем исследовании мы оцениваем причинно-следственную связь между затратами на технологические инновации, осуществляемыми на фоне урбанизации в регионах, и объемом выбросов.

Рассмотрим особенности процесса урбанизации в России, которая имеет в целом положительную тенденцию. Так, доля городского населения в России увеличилась с 73,2 % в 2000 г. до 74,7 % в 2019. Если же рассматривать уровень урбанизации в разрезе регионов, то можно заметить значительные различия между ними. В Магаданской и Мурманской областях показатели доли городского населения наиболее высоки — 96,1 %, 92,2 % за 2019 г. соответственно. Самыми неурбанизированными регионами являются Чеченская Республика и Республика Алтай (менее 40 %). По приросту городского населения за период 2009–2019 гг. в России лидирует Республика Ингушетия — население городов в этом регионе выросло на 12,5 %. В этот же период имела место и отрицательная динамика — Тульская область и Республика Адыгея за последние 10 лет потеряли свыше 5 % городского населения, что может быть связано с межрегиональной миграцией<sup>3</sup>.

Нельзя не упомянуть пандемию COVID-19, захватившую мир в 2020 г., которая показала, что дистанционное общение возможно не только в личных отношениях, но и в рамках организаций. Таким образом, стала возможной удаленная работа, в условиях которой не обязательно присутствие в офисе, и, соответственно, появляется возможность переехать из города

в село или поселок — подальше от городской суеты. Можно сделать вывод, что положительный тренд уровня урбанизации может смениться на отрицательный. Однако в докладе ООН о состоянии городов мира 2020 г. отмечается, что «...COVID-19 не обратит урбанизацию вспять. Естественное желание концентрироваться в больших и малых городах в стремлении удовлетворить амбиции и в поисках лучшей жизни не исчезнет... Оценка долгосрочной перспективы развития ситуации оставляет в силе прогноз о продолжении глобального процесса урбанизации на следующее десятилетие»<sup>4</sup>. В свою очередь, отметим, что отток части взрослого населения из городов компенсируется притоком молодого поколения, которое стремится к самореализации, возможностей для которой, несомненно, больше в городах.

Принятие новых нормативно-правовых актов свидетельствует о понимании проблемы загрязнения атмосферы. Мероприятия по улучшению ситуации проводятся, но вопрос состоит в том, как урбанизация в регионах России влияет на состояние воздуха на настоящем этапе развития.

### 3. Обзор литературы

Результаты многочисленных эмпирических исследований показывают, что урбанизация является фактором, влияющим на выбросы углекислого газа. Соответствующие исследования проводились на основе данных по разным странам мира.

Чаще всего в литературе исследователями выявляется положительная связь между урбанизацией и выбросами загрязняющих веществ в атмосферу. В частности, положительная взаимосвязь была выявлена в исследованиях по Китаю. Данная взаимосвязь обусловлена тем, что в процессе урбанизации необходимо тратить много электроэнергии на развитие общества и экономики, особенно на добычу невозобновляемых источников энергии (Wang et al., 2017; Zhang, Zhao, 2019).

П. Садорский рассмотрел 16 развивающихся стран и пришел к выводу, что связь может быть как положительной, так и отрицательной. С одной стороны, более высокий уровень урбанизации связан с более высокой экономической активностью, которая способствует росту благосостояния, и более состоятельные жители

<sup>1</sup> Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики «Экология и экономика: динамика загрязнения атмосферы страны в преддверии ратификации Парижского соглашения» / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. URL: <https://ac.gov.ru/archive/files/publication/a/23713.pdf> (дата обращения: 13.03.2021).

<sup>2</sup> Доклад «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2019 году» / Министерство природных ресурсов Краснодарского края. URL: [http://mprkk.ru/media/main/attachment/attach/doklad\\_oos\\_za\\_2019\\_.pdf](http://mprkk.ru/media/main/attachment/attach/doklad_oos_za_2019_.pdf) (дата обращения: 15.03.2021).

<sup>3</sup> Регионы России. Социально-экономические показатели / Федеральная служба государственной статистики. URL: [https://www.gks.ru/bgd/regl/b19\\_14p/Main.htm](https://www.gks.ru/bgd/regl/b19_14p/Main.htm) (дата обращения: 26.03.2021).

<sup>4</sup> Доклад о состоянии городов мира 2020 «Ценность устойчивой урбанизации» (Резюме основных положений) // United Nations Human Settlements Programme. URL: [https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/key\\_messages\\_summary\\_russian.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/key_messages_summary_russian.pdf) (дата обращения: 11.04.2021).

часто предъявляют спрос на более энергоемкие продукты (например, автомобили, кондиционеры), которые могут увеличить выбросы углекислого газа. С другой стороны, более состоятельные жители могут больше заботиться об окружающей среде. Усиление урбанизации также способствует экономии от масштаба при развитии общественной инфраструктуры, что снижает ущерб для окружающей среды (Sadorsky, 2014).

Отрицательная связь между урбанизацией и выбросами была выявлена в странах БРИКС. Это связано с увеличением отдачи от масштаба, предоставлением государственных услуг, таких как водопровод, услуги здравоохранения, надлежащее управление отходами и экологически чистая инфраструктура. Все это способствует созданию, эксплуатации и поддержанию городской среды. Также у городских жителей есть больше возможностей для получения высшего образования, что способствует повышению осведомленности и создает тенденцию охраны окружающей среды (Danish et al, 2020).

Перевернутую U-образную взаимосвязь между урбанизацией и выбросами можно объяснить как экологическое следствие структуры производства: восходящая часть кривой захватывает относительно большую роль промышленной структуры на основе сырья, связанную с увеличением выбросов с ростом уровня урбанизации. Нижняя часть кривой связана с промышленной реструктуризацией и внедрением чистых технологий, которые способствуют уменьшению выбросов в атмосферу при росте уровня урбанизации (Qin, Wu, 2015). Кроме того, в процессе урбанизации увеличивается доля третичного сектора экономики, что в определенной степени ограничивает рост потребления энергии и выбросов загрязняющих веществ (Xu et al, 2019). Наряду с этими результатами возможна иная ситуация — урбанизация снижает выбросы в краткосрочной перспективе, но приводит к их увеличению в долгосрочной перспективе (Lin Xu, 2018).

Что касается направления зависимости между урбанизацией и выбросами  $\text{CO}_2$ , в исследовании по Пакистану авторы проводят тест Гренджера на причинность и приходят к выводу лишь об однонаправленном влиянии урбанизации на выбросы  $\text{CO}_2$  (Ali et al., 2019). Такой же тест провели Khan et al. (2020) в ходе исследования восьми развивающихся стран и сделали вывод о влиянии урбанизации на выбросы  $\text{CO}_2$  в семи из восьми стран (Бразилии, Китае, Индии, Малайзии, Мексике,

Филиппинах и Таиланде), и о возможной обратной зависимости лишь в Южной Корее.

Одной из важных моделей, включающих факторы влияния на выбросы загрязняющих веществ, является модель «*Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology*» (далее — *STIRPAT*), предложенная Dietz и Rosa в 1994 году (Dietz, Rosa, 1994). Она основывается на модели *IPAT*, которая приобрела большую популярность в силу своей информативности. Модель *IPAT* исследует влияние трех факторов: населения ( $P$ ), уровня благосостояния ( $A$ ) и технологий ( $T$ ) на окружающую среду ( $I$ ). Такую концепцию загрязнения окружающей среды выдвинули Эрлих и Холдрен (Ehrlich and Holdren, 1971). В рамках этой концепции общие выбросы  $\text{CO}_2$  ( $I$ ) объясняются произведением численности населения ( $P$ ), валового внутреннего продукта на душу населения ( $A$ ) и выбросов  $\text{CO}_2$  на единицу ВВП ( $T$ ). В последующем модель *IPAT* расширялась и преобразовывалась. Как отмечалось ранее, наибольшую важность в исследованиях играет модель *STIRPAT* в силу того, что данная модель позволяет учесть разные эластичности факторов, что может быть реализовано путем логарифмирования переменных в уравнении. В то же время в модели *IPAT* равенство эластичностей противоречило гипотезе экологической кривой Кузнеця, в соответствии с которой предполагается перевернутая U-образная форма зависимости состояния окружающей среды от уровня дохода (Xu et al., 2016).

Однако в модели *STIRPAT* существует проблема определения параметра  $T$  — его можно определить как множество отдельных факторов или как остаток. Последнее проблематично, так как в таком случае трудно разграничить эффекты от технологий от других аспектов социально-экономического развития. При наличии данных рекомендуется представлять  $T$  как набор разных переменных, отражающих уровень развития технологий. В качестве параметра  $T$  используются такие переменные, как энергоёмкость, средства, выделенные на НИОКР, среднегодовая температура, урбанизация и энергопотребление. Во многих исследованиях эти факторы используются в комбинации (Johan-Andrés et al., 2019).

Модель *STIRPAT* совершенствовалась многими исследователями. Например, Yang и его коллеги расширили модель, добавив открытость страны для международной торговли, урбанизацию и температуру, обнаружили, что развитие экономики, урбанизация и открытость являются ключевыми факторами, спо-

собствующими увеличению выбросов в Китае (Yang et al., 2018). Также в модель включается ВВП на душу населения в квадрате для проверки гипотезы экологической кривой Кузнецца (далее ЭКК) (Kuznets, 1955; Wang et al., 2017).

Уровень ВВП на душу населения может влиять на состояние окружающей среды как положительно, так и отрицательно. Положительная зависимость была обнаружена в исследовании по Китаю (Yang et al., 2018; Zhang, Zhao, 2019). Исследователи наблюдали подобную зависимость в странах с развивающейся рыночной экономикой (He et al., 2017; Sadorsky, 2014). Результаты анализа стран БРИКС показали, что ВВП на душу населения на более ранней стадии ускоряет ухудшение состояния окружающей среды, однако после того, как уровни доходов достигают порогового значения, ухудшение состояния окружающей среды снижается (Danish et al., 2020).

Анализ 69 стран с высоким, средним и низким доходами показал положительную значимую зависимость между ВВП на душу населения и уровнем загрязнения атмосферы для стран со средними и низкими доходами (Sharma, 2011).

Энергоемкость (отношение потребления энергии к ВВП) часто включается в модель *STIRPAT* и также показывает статистически значимое влияние на выбросы, чаще всего положительное. Например, такая связь была выявлена для развивающихся стран (Sadorsky, 2014), для 30 провинций Китая (Zhang, Zhao, 2019) и для стран с низкими доходами, с уровнем дохода выше среднего и с уровнем дохода ниже среднего (Lin et al., 2017). Энергоемкость, как показатель использования энергии для выпуска продукции, влияет на выбросы в атмосферу положительно ввиду того, что энергия получается путем сжигания топлива (угля, нефти) на тепловых электростанциях.

Численность и плотность населения влияют на выбросы положительно (He et al., 2017). В долгосрочной перспективе влияние роста населения может быть отрицательным (Rehman et al., 2021). Что касается плотности населения, то она тоже может отрицательно влиять на выбросы. Например, в Китае ее эластичность изменяется с положительной в экономически слаборазвитых провинциях на отрицательную для развитых провинций. Высокая плотность населения способствует крупномасштабным государственным проектам и экономической деятельности, что благоприятно сказывается на технологических инновациях (Liu et al., 2017).

Открытость страны к международной торговле (доля валовой стоимости импорта и экспорта в ВВП) также включается в модель многими исследователями. Она оказывает положительное воздействие на выбросы (Yang et al., 2018). Устойчивый рост экспорта энергоемкой продукции (например, стали, пластмасс и химикатов) неизбежно приведет к значительному увеличению выбросов. Однако некоторые ученые предполагают, что с расширением экспортного сектора усиливаются эффект масштаба, эффект агломерации и эффект технологии. Воздействие открытости страны к международной торговле на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу будет постепенно снижаться из-за вышеуказанных эффектов (Ni, Li, 2011).

Прямые иностранные инвестиции (далее ПИИ) в обрабатывающую промышленность и нефинансовые услуги оказывают негативное влияние на загрязнение окружающей среды в различных группах стран (Doytch, Uctum, 2016). Исследование на основе данных по Австралии, Индонезии, Мексике, Южной Корее и Турции показало, что ПИИ увеличивают загрязнение окружающей среды и стимулируют потребление энергии. По мере увеличения потребления энергии возрастают объемы промышленного производства и, следовательно, увеличивается уровень загрязнения окружающей среды (Bakirtas, Cetin, 2017). Вместе с тем в Китае ситуация оказалась обратной — ПИИ улучшают качество окружающей среды — технический прогресс, сопровождаемый ПИИ, помогает повысить энергоэффективность (Zhang, Zhou, 2016).

Также в исследовательской литературе учитываются вклад сектора услуг в ВВП и вклад сельскохозяйственного сектора в ВВП; эти отрасли оказывают отрицательное влияние на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу (Shuddhasattwa et al., 2016). Для рассмотренной выборки сектор услуг характеризуется тем, что он практически не осуществляет выбросы, а в сельскохозяйственном секторе при расширении площадей в данном случае используются не синтетические удобрения для увеличения урожайности, а питательные вещества, присутствующие в животном навозе и в пожнивных остатках<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Интернет-портал «Международное агентство по атомной энергии». URL: <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/ispolzovanie-yadernyh-metodov-dlya-borby-s-izmeneniyem-klimata-i-povysheniya-plodorodnosti-selskohozyaystvennyh-kultur> (дата обращения: 29.05.2021). — Текст: электронный.

Переменная затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (далее НИОКР) также присутствует среди факторов увеличения выбросов в атмосферу. Китайские исследователи пришли к выводу, что такого рода затраты отрицательно влияют на выбросы (He et al., 2017). В странах ОЭСР краткосрочное влияние НИОКР на выбросы может быть положительным, отрицательным, а также статистически незначимым. Стоит отметить, что положительное влияние НИОКР на выбросы  $\text{CO}_2$  прослеживается примерно в 40 % случаев (Petrović, Lobanov, 2020).

Не в рамках модели *STIRPAT* было проведено исследование по китайским регионам, в котором были рассмотрены градусо-дни нагрева (далее *HDD*) и градусо-дни охлаждения (далее *CDD*). Оказалось, что в западных регионах *HDD* и *CDD* не оказывают существенного влияния на выбросы углекислого газа на душу населения. Это связано с тем, что плотность населения относительно невысока в менее развитых западных регионах, поэтому бытовые приборы для обогрева и охлаждения используются реже. Для центральных и южных регионов коэффициент при *HDD* является значимым и положительным — в этих регионах отсутствует система центрального отопления, что заставляет людей использовать уголь либо электроэнергию для отопления своих жилищ, и это увеличивает выбросы в атмосферу (Hao et al., 2016).

Исследований на тему связи урбанизации и окружающей среды в разрезе регионов России не так много. Межрегиональный анализ России методом построения квантильных регрессий с использованием метода Монте-Карло с Марковскими цепями показал, что гипотеза о положительном влиянии урбанизации на выбросы  $\text{CO}_2$  подтвердилась частично. В более высоких квантилях урбанизация увеличивает выбросы  $\text{CO}_2$  (25, 75 и 90 %). Наибольший эффект достигается в 75 %-ном квантиле. В квантилях 10 и 50 % увеличение урбанизации ведет к снижению выбросов  $\text{CO}_2$ . Гипотеза о выполнении экологической кривой Кузнеца также подтвердилась частично. Она выполняется в квантилях со средним и высоким уровнем выбросов  $\text{CO}_2$  (Мариев и др., 2020).

#### 4. Данные, переменные и методы анализа

В данном исследовании за основу взята рассмотренная выше модель *STIRPAT* (Dietz, Rosa, 1994), которая была разработана на основе модели *IPAT* (Ehrlich and Holdren, 1971). Модель *STIRPAT*, предложенная в литературе, имеет следующий вид:

$$I_i = a \times P_i^b \times A_i^c \times T_i^d \times e_i, \quad (1)$$

где  $I$  — количество выбросов загрязняющих веществ,  $P$  — численность населения,  $A$  — ВВП на душу населения,  $T$  — технологии. В данной модели в отличие от модели *IPAT* эластичности  $b$ ,  $c$  и  $d$  не равны.

Мы делим все переменные модели *IPAT* на численность населения, чтобы учесть различия между регионами, поэтому объясняющая переменная «население» сокращается, как и в исследовании Ванг и др. (Wang et al., 2017). Далее переходим к модели *STIRPAT*, чтобы получить разные эластичности. Затем модель логарифмируется и принимает следующий вид:

$$\ln \frac{I_i}{P_i} = a + b \times \ln \left( \frac{A_i}{P_i} \right) + c \times \ln \left( \frac{T_i}{P_i} \right) + e_i. \quad (2)$$

Интерпретация коэффициентов будет следующей: изменение  $\frac{A_i}{P_i}$  или  $\frac{T_i}{P_i}$  на 1 % приводит к изменению воздействия на окружающую среду на  $b$  % или  $c$  %, соответственно.

Для анализа были собраны данные по 75 субъектам Российской Федерации за период 2001–2018 гг. Из анализа исключены Республика Ингушетия, Чеченская Республика, Чукотский автономный округ, Республика Крым и города федерального значения: Москва, Санкт-Петербург, Севастополь.

Переменные разделены на категории, согласно модели *STIRPAT* (табл. 2). Так как модель предполагает логарифмирование переменных, это было учтено как по объясняемой переменной, так и по объясняющим.

Первичные данные были получены из сборника «Регионы России. Социально-экономические показатели» Федеральной службы государственной статистики, и на их основе были построены необходимые переменные. Для сбора данных о потреблении электроэнергии также был использован сайт Росстата.

Описательные статистики показали, что между регионами России есть существенные различия, поэтому было принято решение разделить их на две группы (подвыборки) согласно товарной структуре внешней торговли. За основу была взята продукция «Металлы и изделия из них», а именно группы 72–83 (раздел 15), а также продукция топливно-энергетического комплекса (группа 27). Эти группы входят в товарную номенклатуру внешнеэкономической деятельности (далее ТН ВЭД). Она закреплена решением Совета Евразийской

## Объясняемая и объясняющие переменные

Группа переменных	Переменная	Обозначение	Ед. измерения
Объясняемая переменная	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на душу населения, логарифм	<i>lemish</i>	тонн/ чел
Объясняющие переменные			
Доходы	ВРП на душу населения к 2018 году, логарифм	<i>lgrph2018</i>	млн руб./чел.
	Логарифм ВРП на душу населения к 2018 году в квадрате	<i>lgrph20182</i>	—
Технологии	Доля городского населения, логарифм	<i>lurb</i>	%
	Потребление энергии на душу населения, логарифм	<i>linnoh</i>	кВт·час/тыс. чел
	Прямые иностранные инвестиции на тыс. чел., логарифм	<i>lf dih</i>	тыс. долл. США/чел
	Градусо-сутки для января, логарифм	<i>lddw</i>	градусов Цельсия
	Производство затрат на технологические инновации на тыс. чел и доли городского населения	<i>linnohurb</i>	—

экономической комиссии от 16 июля 2012 года № 54 «Об утверждении единой Товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза и Единого таможенного тарифа Евразийского экономического союза». Среди видов экономической деятельности на такие сектора, как отрасли добычи и переработки топлива, а также на металлургическую промышленность, приходится наибольший объем загрязнения атмосферы от стационарных источников.

В целях классификации регионов был рассчитан индекс выявленного сравнительного преимущества (*RCA*) на основе данных по экспорту и импорту регионов в денежном выражении (млн долл. США) по 27-й группе и 15-му разделу ТН ВЭД. Для расчета индекса *RCA* используется модификация индекса (Greenway and Milner, 1993):

$$RCA = \frac{X_{ij} - M_{ij}}{X_{ij} + M_{ij}}, \quad (3)$$

где  $X$  — экспорт,  $M$  — импорт (в денежном выражении),  $i$  — исследуемая страна (регион),  $j$  — товар (или отрасль промышленности).

Значение этой модификации индекса *RCA* находится в диапазоне от «-1» до «+1», где «-1» — отсутствие сравнительного преимущества, «+1» — выявленное сравнительное преимущество. Значение индекса равно нулю в двух случаях — когда регион экспортирует и импортирует одинаковое количество продукции в денежном выражении, либо когда регион не экспортирует и не импортирует данную продукцию.

После проведения вышеописанного расчета была создана дамми-переменная, равная 0,

если в регионе индекс *RCA* меньше 0,5 по группе 27 и по разделу 15 ТН ВЭД, и 1 — если в регионе индекс *RCA* больше 0,5 по группе 27 или по разделу 15 ТН ВЭД. Таким образом, группа 1 — это подвыборка, в которую попали регионы с дамми-переменной, равной единице (индекс *RCA* больше 0,5), группа 2 — с дамми-переменной, равной нулю (индекс *RCA* меньше 0,5).

В исследовании построены 3 модели: для регионов, попавших в группу 1, для регионов, попавших в группу 2 и для всех регионов в целом.

Что касается методов оценки, модель STIRPAT оценивается в научной литературе различными методами. Многие исследователи используют следующие методы: метод наименьших квадратов (*OLS*), модель со случайными эффектами (*RE*), модель с фиксированными эффектами (*FE*) (Poumanyong, Kaneko, 2010; Zhang, Zhao, 2019). Метод *FE* позволяет учесть гетерогенность между единицами наблюдения, не меняющуюся во времени, которая является одной из причин эндогенности. Данный метод обычно применяется после теста о его целесообразности в сравнении с методом *RE*.

Вместе с тем при оценивании модели STIRPAT могут наблюдаться проблемы автокорреляции и гетероскедастичности. Чтобы их преодолеть, используются различные эконометрические методы. В частности, линейная регрессия со стандартными ошибками Дрисколла — Крея (*DK*) позволяет получить стандартные ошибки, устойчивые к пространственной зависимости, чтобы устранить проблему автокорреляции (Driscoll, Kraay, 1998; Wang et al., 2013; Xu et al., 2015).

Таблица 3

## Результаты для полной выборки из 75 субъектов России

Переменная	FE	DK	FE CLU	PCSE
1	2	3	4	5
ВРП на душу населения к 2018 году, логарифм	0,5572** (0,2651)	0,5572* (0,2824)	0,5572** (0,2651)	0,8444* (0,4692)
Логарифм ВРП на душу населения к 2018 году в квадрате	-0,0265** (0,0111)	-0,0265** (0,0115)	-0,0265** (0,0111)	-0,0391** (0,0192)
Доля городского населения, логарифм	0,0540*** (0,0035)	0,0540*** (0,0071)	0,0540*** (0,0035)	0,0253*** (0,0047)
Потребление электроэнергии на душу населения, логарифм	0,3269*** (0,0652)	0,3269*** (0,0548)	0,3269*** (0,0652)	0,7665*** (0,0525)
Прямые иностранные инвестиции на тыс. чел., логарифм	0,0002 (0,0032)	0,0002 (0,0019)	0,0002 (0,0032)	0,0046* (0,0027)
Градусо-сутки для января, логарифм	-0,0102 (0,0401)	-0,0102 (0,0452)	-0,0102 (0,0401)	0,0103 (0,0200)
Производство затрат на технологические инновации на тыс. чел. и доли городского населения	-0,0092** (0,0039)	-0,0092* (0,0037)	-0,0092** (0,0039)	0,0044 (0,0041)
Константа	-9,6938*** (1,6662)	-9,6938*** (1,4126)	-9,6938*** (1,6662)	-10,3748*** (3,0457)
Количество наблюдений	1263	1263	1263	1263
R <sup>2</sup>	0,1734	—	0,1734	0,8554

Примечание: уровни значимости: \*  $p < 0,1$ ; \*\*  $p < 0,05$ ; \*\*\*  $p < 0,01$ .  
В скобках: стандартные ошибки.

Кроме того, для учета эффектов гетероскедастичности и корреляции внутри кластеров в моделях со случайными и фиксированными эффектами оцениваются кластерные стандартные ошибки Роджерса, т. е. используется модель панельных данных с фиксированными эффектами и кластерными стандартными ошибками (FE CLU) (Rogers, Chaffee, 1993). В нашем случае предполагается наличие эффектов корреляции внутри региона за различные годы, поэтому целесообразно использовать этот метод.

Наши данные имеют следующую структуру:  $N = 75$ ,  $T = 18$ . Панель со скорректированными стандартными ошибками (*panel-corrected standard errors* — PCSE) может использоваться в этом случае. Данный метод предполагает, что ошибки гетероскедастичны и коррелированы в один период времени с учетом панельной структуры данных, а также могут быть автокоррелированы во времени (Bailey, Katz, 2011). Поэтому в случае наших данных PCSE также является подходящим методом.

Таким образом, на основе анализа научных статей нами было выбрано 4 метода оценки модели на основе панельных данных: модель панельных данных с фиксированными эффектами (FE), линейная регрессия со стандартными ошибками Дрисколла — Крея (DK), модель панельных данных с фиксированными

эффектами и кластерными стандартными ошибками (FE CLU), панель со скорректированными стандартными ошибками (PCSE).

### 5. Результаты исследования и рекомендации

В таблице 3 представлены результаты оценки модели для всех рассмотренных регионов. Коэффициент при ключевой переменной «Доля городского населения» устойчиво положителен и статистически значим для всех групп российских регионов.

При оценивании методами FE, DK и FE CLU подтверждается ЭКК. Также заметно, что ВРП устойчиво является основным фактором роста выбросов в атмосферу. Для интерпретации результатов для этой выборки следует принять во внимание метод DK, так как оценки стандартной ошибки устойчивы (Hoehle, 2007). Потребление электроэнергии в совокупности для всех регионов влияет положительно на выбросы. Заметен необъяснимый для России отрицательный знак при переменной «Градусо-сутки для января» при оценивании методами FE, DK, и FE CLU, однако он является статистически незначимым, что согласуется с литературой (Yang et al., 2018). Вместе с тем при оценке методом PCSE этот коэффициент имеет положительный знак, что говорит о возможном положительном влиянии на выбросы.

Результаты для первой группы регионов (индекс RCA больше 0,5)

Переменная	FE	DK	FE CLU	PCSE
1	2	3	4	5
ВРП на душу населения к 2018 году, логарифм	0,9579** (0,4469)	0,9279 (0,6066)	0,9579** (0,4469)	0,4215 (0,8928)
Логарифм ВРП на душу населения к 2018 году в квадрате	-0,0444** (0,0183)	-0,0444* (0,0249)	-0,0444** (0,0183)	-0,0211 (0,0369)
Доля городского населения, логарифм	0,0562*** (0,0044)	0,0554*** (0,0093)	0,0562*** (0,0044)	0,0271*** (0,0063)
Потребление электроэнергии на душу населения, логарифм	0,4919*** (0,0900)	0,4919*** (0,0484)	0,4919*** (0,0900)	0,9292*** (0,0964)
Прямые иностранные инвестиции на тыс. чел., логарифм	0,0028 (0,0045)	0,0028* (0,0026)	0,0028 (0,0045)	0,0094*** (0,0040)
Градусо-сутки для января, логарифм	-0,0034 (0,0554)	-0,0034 (0,0712)	-0,0034 (0,0554)	-0,1923 (0,0471)
Производство затрат на технологические инновации на тыс. чел. и доли городского населения	-0,0034 (0,0056)	-0,0034 (0,0031)	-0,0039 (0,0056)	0,0048 (0,0046)
Константа	-12,2574*** (2,8381)	-12,2574*** (3,9971)	-12,2574*** (2,8381)	-7,9270** (5,6768)
Количество наблюдений	655	655	655	655
R <sup>2</sup>	0,2514	—	0,2514	0,7920

Примечание: уровни значимости: \*  $p < 0,1$ ; \*\*  $p < 0,05$ ; \*\*\*  $p < 0,01$ .

В скобках: стандартные ошибки.

Важным результатом является то, что затраты на технологические инновации с учетом процесса урбанизации отрицательно влияют на выбросы (коэффициент значим при оценке методами FE, DK и FE CLU).

В регионах, которые попали в группу 1 по результатам оценивания методами FE и FE CLU, рост доли городского населения ведет к увеличению выбросов в атмосферу (табл. 4). ЭКК подтверждается, а ВРП увеличивает выбросы, что является стабильным при всех методах. Переменная «Потребление электроэнергии» также положительно и значимо влияет на выбросы. В силу устойчивости знака при переменной, отвечающей за ПИИ, можно полагать, что приток иностранных инвестиций приводит к росту выбросов в воздух во всех регионах России. Коэффициент при «Градусо-сутки для января» является статистически незначимым и отрицательным, как и для всех регионов в целом. Производство затрат на технологические инновации и доли городского населения становятся статистически незначимыми при оценке модели для группы 1.

Таблица 5 для регионов из второй группы показывает, что рост доли городского населения положительно влияет на выбросы — так же, как и для регионов из 1-й группы. Для рассмотренных регионов нельзя утверждать, что ЭКК выполняется, так как коэффициенты при пере-

менных непостоянны в знаке при оценивании разными методами; ЭКК выполняется только при оценке методом PCSE. Знак при переменной ПИИ отрицательный для методов FE, DK и FE CLU, но переменная статистически незначима. Затраты на технологические инновации с учетом урбанизации влияют на выбросы отрицательно — коэффициент в 2–4-й колонках таблицы 6 значим.

На основе эконометрического анализа можно сформулировать следующие результаты. Рост доли городского населения положительно влияет на выбросы независимо от того, какой индекс RCA имеет регион по группе 27 ТН ВЭД или по разделу 15 ТН ВЭД. Такая связь наблюдалась и в ранее проведенных исследованиях. Для российских регионов и городов, в частности, в прошлом и отчасти в настоящем концентрация промышленности высока именно в городах. Зачастую заводы строились в пределах города с целью увеличения количества рабочих мест и, соответственно, борьбы с безработицей. Также на многих предприятиях независимо от рода их деятельности используется устаревшее и экологически небезопасное оборудование, которое не может справиться с объемами выбросов вредных веществ. Это происходит в силу того, что современные эффективные очистительные сооружения достаточно дороги. В 2019 г. всего 8,8 % организа-

Таблица 5

## Результаты для второй группы регионов (индекс RCA меньше 0,5)

Переменная	FE	DK	FE CLU	PCSE
1	2	3	4	5
ВРП на душу населения к 2018 году, логарифм	-0,0651 (0,3783)	-0,0651 (0,3944)	-0,0651 (0,3783)	0,1457* (0,5556)
Логарифм ВРП на душу населения к 2018 году в квадрате	0,0030 (0,0161)	0,0030 (0,0172)	0,0030 (0,0161)	-0,0041* (0,0234)
Доля городского населения, логарифм	0,0369*** (0,0066)	0,0369*** (0,0036)	0,0369*** (0,0066)	0,0175*** (0,0040)
Потребление электроэнергии на душу населения, логарифм	0,0053 (0,1088)	0,0053 (0,1713)	0,0053 (0,1088)	0,3770 (0,0600)
Прямые иностранные инвестиции на тыс. чел., логарифм	-0,0045 (0,0044)	-0,0045 (0,0036)	-0,0045 (0,0044)	0,0033 (0,0028)
Градусо-сутки для января, логарифм	-0,0140 (0,0591)	-0,0140 (0,0521)	-0,0140 (0,0591)	0,0446*** (0,0222)
Производство затрат на технологические инновации на тыс. чел. и доли городского населения	-0,0135** (0,0056)	-0,0135** (0,0056)	-0,0135** (0,0056)	-0,0028 (0,0038)
Константа	-4,9648** (2,3492)	-4,9648 (2,4519)	-4,9648** (2,3492)	-6,3069*** (3,4046)
Количество наблюдений	608	608	608	608
R <sup>2</sup>	0,1150	—	0,1150	0,8430

Примечание: уровни значимости: \*  $p < 0,1$ ; \*\*  $p < 0,05$ ; \*\*\*  $p < 0,01$ .  
В скобках: стандартные ошибки.

ций в России использовали систему контроля за загрязнением окружающей среды<sup>1</sup>. Также при росте доли городского населения уничтожаются леса, на месте которых строятся новые жилые комплексы. А леса, в свою очередь, являются естественными очистителями нижнего слоя атмосферы.

Выполнение ЭКК можно считать условным, что согласуется с исследованием на основе данных по регионам России, в котором была подтверждена гипотеза ЭКК, но в то же время было обнаружено, что большинство регионов находится на восходящей ветви перевернутой U-образной кривой (Иванова, 2019). В нашем исследовании гипотеза ЭКК подтвердилась для всех регионов в целом, но при анализе в разрезе регионов — только для первой группы регионов. В регионах из второй группы гипотеза ЭКК подтвердилась при оценке только одним из методов. При интерпретации данного результата важно учесть, что эти регионы либо дифференцированы в экономической деятельности, либо в них отсутствуют добыча полезных ископаемых и торговля топливом и продукцией металлургического комплекса.

<sup>1</sup> Гохберг Л. М. Индикаторы инновационной деятельности: 2021: статистический сборник / Л. М. Гохберг, Г. А. Грачева, К. А. Дитковский и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2021. 280 с.

Потребление электроэнергии положительно влияет на выбросы в силу того, что процент энергии, получаемой из возобновляемых источников, очень низок и составляет 2 % по состоянию на 2020 г., тогда как в Европейском союзе этот показатель равен 40 %. Использование ископаемого топлива, в частности, вышеупомянутых природного газа и угля, при генерации электроэнергии несомненно приводит к выбросам в атмосферу, так как процесс их добычи приводит к выбросам летучих водородных соединений. Терриконы, которые образуются при добыче угля, оказывают серьезное влияние на нижние слои воздуха. В силу своего состава они выделяют теплоту, тем самым провоцируя возгорания. Продукты горения терриконов очень опасны, так как имеют вредные газы и химические соединения. Добычей же объясняется тот факт, что при эконометрическом оценивании потребление энергии в регионах, где ведется добыча топливно-энергетических ископаемых (1 группа), в большей степени и статистически значимо увеличивает выбросы, чем в регионах из группы 2.

ПИИ в разных регионах влияют на выбросы по-разному: в первой выборке — увеличивают, во второй — уменьшают, но статистически незначимо. Это объясняется тем, что ПИИ в среднем за период 2010–2020 гг. в доле 22,3 % на-

правлялись на добычу полезных ископаемых всех видов и металлургическое производство — в те виды экономической деятельности, которые больше всего загрязняют атмосферу. В регионах второй группы не ведется столь активной добычи полезных ископаемых и не столь развита металлургическая промышленность, поэтому в этих регионах ПИИ направляются на менее загрязняющие виды экономической деятельности.

Затраты на технологические инновации с учетом процесса урбанизации в целом по российским регионам отрицательно влияют на выбросы, однако статистически значимо лишь для полной выборки и второй группы регионов. Это говорит об эффективности затрат на технологические разработки, например, для совершенствования оборудования. В силу же того, что такого рода затраты имеют временной лаг по отношению к фактическому использованию инноваций, процесс урбанизации помогает этот временной лаг уменьшить. Это приводит к компенсации выбросов, связанных с ростом доли городского населения, — влияние урбанизации с учетом затрат на технологические разработки становится отрицательным. Что касается самих затрат на технологические разработки, обратим внимание на факты, связанные со снижением воздействия на окружающую среду: за 2019 год 50,4 % всех затрат осуществлялись в промышленном секторе экономики, роль которого в загрязнении атмосферы существенна. 34 % средств были направлены на научные исследования и разработки, 38 % — на приобретение машин и оборудования. Кроме того, 52,7 % организаций в промышленном производстве сокращают энергопотребление, 64,4 % — сокращают загрязнения атмосферного воздуха, земельных, водных ресурсов, уменьшают уровни шума и 34,8 % — улучшают возможности вторичной переработки в 2019 г.

Это на 2,8 %, 8,3 % и 7,8 % больше, чем в 2017 г. соответственно<sup>1</sup>.

## 6. Заключение

Результаты проведенного эконометрического исследования показали, что рост доли городского населения приводит к росту выбросов в атмосферу независимо от типа региона, определяемого долей чистого экспорта региона в общем торговом обороте по продукции топливно-энергетического комплекса или металлургической промышленности. Затраты на технологические инновации с учетом влияния урбанизации статистически значимо отрицательно влияют на выбросы для второй группы регионов и выборки в целом, что говорит об их эффективности. Таким образом, обе гипотезы в целом подтвердились.

На основании данного исследования можно сделать вывод о том, что независимо от рода деятельности региона необходимо качественно сопровождать рост населения городов: улучшать городскую среду, сохранять и создавать «зеленые зоны», а также содействовать в реализации профессиональных способностей населения. В самом деле, человеческий капитал будет способствовать совершенствованию производственного процесса, в том числе при добыче полезных ископаемых и металлургическом производстве, в сторону экологичности. Также необходимо продолжать направлять затраты на технологические инновации и совершенствовать их эффективность.

Для будущих исследований рекомендуется обратить внимание на транспорт как источник выбросов загрязняющих веществ и на экологичное развитие транспорта в регионах.

<sup>1</sup> Гохберг Л. М. Индикаторы инновационной деятельности: 2021: статистический сборник / Л. М. Гохберг, Г. А. Грачева, К. А. Дитковский и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2021. 280 с.

## Список источников

- Иванова В. И. ВРП и загрязнение окружающей среды в регионах России: пространственно-эконометрический анализ // Квантиль. 2019. Вып. 14. С. 53–62. URL: <https://ideas.repec.org/a/qnt/quantl/y2019i14p53-62.html> (дата обращения: 20.06.2021).
- Мариев О. С., Давидсон Н. Б., Емельянова О. С. Влияние урбанизации на выбросы углекислого газа в регионах России // Journal of applied economic research. 2020. Т. 19. Вып. 3. С. 286–309. DOI: 10.15826/vestnik.2020.19.3.014.
- Ali R., Bakhsh K., Yasin M. A. Impact of urbanization on CO<sub>2</sub> emissions in emerging economy: evidence from Pakistan // Sustainable Cities and Society. 2019. Vol. 48. P. 101553. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101553.
- Bailey D., Katz J. N. Implementing panel-corrected standard errors in R: The pcse Package // Journal of Statistical Software, Foundation for Open Access Statistics. 2011. Vol. 42(c01).
- Bakirtas I., Cetin M. A. Revisiting the environmental Kuznets curve and pollution haven hypotheses: MIKTA sample // Environmental Science and Pollution Research. 2017. Vol. 24. P. 18273–18283. DOI: 10.1007/s11356-017-9462-y.
- Danish, Ulucak R., Khan S. U.-D. Determinants of the ecological footprint: Role of renewable energy, natural resources and urbanization // Sustainable Cities and Society. 2020. Vol. 54. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101996.

- Dietz T., Rosa E. A.* Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology // *Human Ecology Review*. 1994. Vol. 1(2). P. 277–300.
- Doytch N., Uctum M.* Globalization and the environmental impact of sectoral FDI // *Economic Systems*. 2016. Vol. 40, No. 4. P. 582–594. DOI: 10.1016/j.ecosys.2016.02.005.
- Driscoll J. C., Kraay A. C.* Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data // *The Review of Economics and Statistics*. 1998. Vol. 80(4). P. 549–560. DOI: 10.1162/003465398557825.
- Ehrlich P. R., Holdren J. P.* Impact of population growth // *Science*. 1971. Vol. 171, No. 3977. P. 1212–1217. DOI: 10.1126/science.171.3977.1212.
- Hao Y., Chen H., Wei Y.-M., Li Y.-M.* The influence of climate change on CO<sub>2</sub> (carbon dioxide) emissions: an empirical estimation based on Chinese provincial panel data // *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 131. P. 667–677. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.04.117.
- He Z., Xu S., Shen W., Long R., Chen H.* Impact of urbanization on energy related CO<sub>2</sub> emission at different development levels: Regional difference in China based on panel estimation // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 140. P. 1719–1730. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.08.155.
- Hoechle D.* Robust Standard Errors for Panel Regressions with Cross-Sectional Dependence // *The Stata Journal*. 2007. Vol. 7 (3). P. 281–312. DOI:10.1177/1536867X0700700301.
- Johan-Andrés V.-H., Vivanco D. F., Hernández-Riveros J.-A.* Technological change and the rebound effect in the STIRPAT model: A critical view // *Energy Policy*. 2019. Vol. 129. P. 1372–1381. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.03.044.
- Khan K., Su C. W., Tao R. et al.* Urbanization and carbon emission: Causality evidence from the new industrialized economies // *Environment, Development and Sustainability*. 2020. Vol. 22, No. 8. P. 7193–7213. DOI: 10.1007/s10668–019–00479–1.
- Kuznets S.* Economic growth and income inequality // *The American Economic Review*. 1955. Vol. 45, No. 1. P. 1–28. URL: <https://www.jstor.org/stable/1811581>. (дата обращения:18.05.2021).
- Lin B., Xu B.* Growth of industrial CO<sub>2</sub> emissions in Shanghai city: Evidence from a dynamic vector autoregression analysis // *Energy*. 2018. Vol. 151. P. 167–177. DOI: 10.1016/j.energy.2018.03.052.
- Lin S., Wang S., Marinova D., Zhao D., Hong J.* Impacts of urbanization and real economic development on CO<sub>2</sub> emissions in non-high income countries: Empirical research based on the extended STIRPAT model // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 166(10). P. 952–966. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.08.107.
- Ni W., Li Y.* Dynamic relations between foreign trade, FDI and CO<sub>2</sub> emission: an empirical analysis of Zhejiang Province // *Journal of Zhejiang Shuren University*. 2011. DOI: 10.3969/j.issn.1671–2714.2011.04.009.
- Petrovic P., Lobanov M. M.* The impact of R&D expenditures on CO<sub>2</sub> emissions: Evidence from sixteen OECD countries // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 248 (2). DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119187.
- Poumanyong P., Kaneko S.* Does urbanization lead to less energy use and lower CO<sub>2</sub> emissions? A cross-country analysis // *Ecological Economics*. 2010. Vol. 70, No. 2. P. 434–444. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2010.09.029.
- Qin B., Wu J.* Does urban concentration mitigate CO<sub>2</sub> emissions? Evidence from China 1998–2008 // *China Economic Review*. 2015. Vol. 35, No. C. P. 220–231. DOI: 10.1016/j.chieco.2014.02.006.
- Rehman A., Ma H., Ahmad M., Irfan M., Traore O., Chandio A. A.* Towards environmental sustainability: Devolving the influence of carbon dioxide emission to population growth, climate change, forestry, livestock and crops production in Pakistan // *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 125. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107460.
- Rogers E. M., Chaffee S. H.* The past and the future of communication study: convergence or divergence? // *Journal of Communication*. 1993. Vol. 43(4). P. 125–131. DOI: 10.1111/j.1460–2466.1993.tb01312.
- Sadorsky P.* The effect of urbanization on CO<sub>2</sub> emissions in emerging economies // *Energy Economics*. 2014. Vol. 41(C). P. 147–153. DOI: 10.1016/j.eneco.2013.11.007.
- Sharma S. S.* Determinants of carbon dioxide emissions: Empirical evidence from 69 countries // *Applied Energy*. 2011. Vol. 88(1). P. 376–382. DOI: 10.1016/j.apenergy.2010.07.022.
- Shuddhasattwa R., Salim R., Apergis N.* Agriculture, trade openness and emissions: an empirical analysis and policy options // *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*. 2016. Vol. 60 (3). P. 348–365. DOI: 10.1111/1467–8489.12131.
- Stern D. I.* The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve // *World Development*. 2004. Vol. 32, No. 8. P. 1419–1439. DOI: 10.1016/j.worlddev.2004.03.004.
- Wang P., Wu W., Zhu B., Wei Y.* Examining the impact factors of energy-related CO<sub>2</sub> emissions using the STIRPAT model in Guangdong Province, China // *Applied Energy*. 2013. Vol. 106, No. C. P. 65–71. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.01.036.
- Wang S., Zhao T., Zheng H., Hu J.* The STIRPAT Analysis on Carbon Emission in Chinese Cities: An Asymmetric Laplace Distribution Mixture Model // *Sustainability*. 2017. Vol. 9(12). P.1–13. DOI: 10.3390/su9122237.
- Xu Sh.-Ch., He Zh.-X., Long R.-Y., Shen W.-X. et al.* Impacts of economic growth and urbanization on CO<sub>2</sub> emissions: regional differences in China based on panel estimation // *Regional Environmental Change*. 2015. Vol. 16. P. 777–787. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113–015–0795–0>.
- Yang L., Xia H., Zhang X., Yuan S.* What matters for carbon emissions in regional sectors? A China study of extended STIRPAT model // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 180. P. 595–602. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.01.116.
- Yonghong L., Gao C., Lu Y.* The impact of urbanization on GHG emissions in China: The role of population density // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 157. P. 299–309. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.04.138.

Zhang C., Zhou X. Does foreign direct investment lead to lower CO<sub>2</sub> emissions? Evidence from a regional analysis in China // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 58, No. C. P. 943–951. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.226.

Zhang S., Zhao T. Identifying major influencing factors of CO<sub>2</sub> emissions in China: Regional disparities analysis based on STIRPAT model from 1996 to 2015 // *Atmospheric Environment*. 2019. Vol. 207. P. 136–147. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.12.040.

Zhu H.-M., You W.-H., Zeng Z.-fa Urbanization and CO<sub>2</sub> emissions: A semi-parametric panel data analysis // *Economics Letters*. 2012. Vol. 117, No. 3. P. 848–850. DOI: 10.1016/j.econlet.2012.09.001.

## References

Ivanova, V. I. (2019). VRP i zagryaznenie okruzhayushchey sredy v regionakh Rossii: prostranstvenno-ekonometricheskii analiz [GRP and environmental pollution in Russian regions: spatial econometric analysis]. *Kvantil' [Quantile]*, 14, 53–62. Retrieved from: <https://ideas.repec.org/a/qnt/quantil/y2019i14p53-62.html> (Date of access: 20.06.2021). (In Russ.)

Mariev, O. S., Davidson, N. B. & Emel'yanova, O. S. (2020). Vliyanie urbanizatsii na vybrosy uglekislogo gaza v regionakh Rossii [The Impact of Urbanization on Carbon Dioxide Emissions in the Regions of Russia]. *Journal of applied economic research*, 19(3), 286–309. DOI: 10.15826/vestnik.2020.19.3.014. (In Russ.)

Ali, R., Bakhsh, K. & Yasin, M. A. (2019). Impact of urbanization on CO<sub>2</sub> emissions in emerging economy: evidence from Pakistan. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101553. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101553.

Bailey, D. & Katz, J. N. (2011). Implementing panel-corrected standard errors in R: The pcse Package. *Journal of Statistical Software, Foundation for Open Access Statistics*, 42(c01).

Bakirtas, I. & Cetin, M. A. (2017). Revisiting the environmental Kuznets curve and pollution haven hypotheses: MIKTA sample. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 18273–18283. DOI: 10.1007/s11356-017-9462-y.

Danish, Ulucak, R. & Khan, S. U.-D. (2020). Determinants of the ecological footprint: Role of renewable energy, natural resources and urbanization. *Sustainable Cities and Society*, 54. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101996.

Dietz, T. & Rosa, E. A. (1994). Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology. *Human Ecology Review*, 1(2), 277–300.

Doytch, N. & Uctum, M. (2016). Globalization and the environmental impact of sectoral FDI. *Economic Systems*, 40(4), 582–594. DOI: 10.1016/j.ecosys.2016.02.005.

Driscoll, J. C. & Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *The Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549–560. DOI: 10.1162/003465398557825.

Ehrlich, P. R. & Holdren, J. P. (1971). Impact of population growth. *Science*, 171(3977), 1212–1217. DOI: 10.1126/science.171.3977.1212.

Hao, Y., Chen, H., Wei, Y.-M. & Li, Y.-M. (2016). The influence of climate change on CO<sub>2</sub> (carbon dioxide) emissions: an empirical estimation based on Chinese provincial panel data. *Journal of Cleaner Production*, 131, 667–677. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.04.117.

He, Z., Xu, S., Shen, W., Long R. & Chen, H. (2017). Impact of urbanization on energy related CO<sub>2</sub> emission at different development levels: Regional difference in China based on panel estimation. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1719–1730. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.08.155.

Hoechle, D. (2007). Robust Standard Errors for Panel Regressions with Cross-Sectional Dependence. *The Stata Journal*, 7(3), 281–312. DOI: 10.1177/1536867X0700700301.

Johan-Andrés, V.-H., Vivanco, D. F. & Hernández-Riveros, J.-A. (2019). Technological change and the rebound effect in the STIRPAT model: A critical view. *Energy Policy*, 129, 1372–1381. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.03.044.

Khan, K., Su, C. W., Tao, R. et al. (2020). Urbanization and carbon emission: Causality evidence from the new industrialized economies. *Environment, Development and Sustainability*, 22(8), 7193–7213. DOI: 10.1007/s10668-019-00479-1.

Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 1–28. Retrieved from: <https://www.jstor.org/stable/1811581>. (Date of access: 18.05.2021).

Lin, B. & Xu, B. (2018). Growth of industrial CO<sub>2</sub> emissions in Shanghai city: Evidence from a dynamic vector autoregression analysis. *Energy*, 151, 167–177. DOI: 10.1016/j.energy.2018.03.052.

Lin, S., Wang, S., Marinova, D., Zhao, D. & Hong, J. (2017). Impacts of urbanization and real economic development on CO<sub>2</sub> emissions in non-high income countries: Empirical research based on the extended STIRPAT model. *Journal of Cleaner Production*, 166(10), 952–966. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.08.107.

Ni, W. & Li, Y. (2011). Dynamic relations between foreign trade, FDI and CO<sub>2</sub> emission: an empirical analysis of Zhejiang Province. *Journal of Zhejiang Shuren University*. DOI: 10.3969/j.issn.1671-2714.2011.04.009.

Petrovic, P. & Lobanov, M. M. (2020). The impact of R&D expenditures on CO<sub>2</sub> emissions: Evidence from sixteen OECD countries. *Journal of Cleaner Production*, 248 (2). DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119187.

Poumanyong, P. & Kaneko, S. (2010). Does urbanization lead to less energy use and lower CO<sub>2</sub> emissions? A cross-country analysis. *Ecological Economics*, 70(2), 434–444. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2010.09.029.

Qin, B. & Wu, J. (2015). Does urban concentration mitigate CO<sub>2</sub> emissions? Evidence from China 1998–2008. *China Economic Review*, 35(C), 220–231. DOI: 10.1016/j.chieco.2014.02.006.

- Rehman, A., Ma, H., Ahmad, M., Irfan, M., Traore, O. & Chandio, A. A. (2021). Towards environmental sustainability: Devolving the influence of carbon dioxide emission to population growth, climate change, forestry, livestock and crops production in Pakistan. *Ecological Indicators*, 125, 1–11. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107460.
- Rogers, E. M. & Chaffee, S. H. (1993). The past and the future of communication study: convergence or divergence? *Journal of Communication*, 43(4), 125–131. DOI: 10.1111/j.1460-2466.1993.tb01312.
- Sadorsky, P. (2014). The effect of urbanization on CO<sub>2</sub> emissions in emerging economies. *Energy Economics*, 41(C), 147–153. DOI: 10.1016/j.eneco.2013.11.007.
- Sharma, S. S. (2011). Determinants of carbon dioxide emissions: Empirical evidence from 69 countries. *Applied Energy*, 88(1), 376–382. DOI: 10.1016/j.apenergy.2010.07.022.
- Shuddhasattwa, R., Salim, R. & Apergis, N. (2016). Agriculture, trade openness and emissions: an empirical analysis and policy options. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 60(3), 348–365. DOI: 10.1111/1467-8489.12131.
- Stern, D. I. (2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development*, 32(8), 1419–1439. DOI: 10.1016/j.worlddev.2004.03.004.
- Wang, P., Wu, W., Zhu, B. & Wei, Y. (2013). Examining the impact factors of energy-related CO<sub>2</sub> emissions using the STIRPAT model in Guangdong Province, China. *Applied Energy*, 106(C), 65–71. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.01.036.
- Wang, S., Zhao, T., Zheng, H. & Hu, J. (2017). The STIRPAT Analysis on Carbon Emission in Chinese Cities: An Asymmetric Laplace Distribution Mixture Model. *Sustainability*, 9(12), 1–13. DOI: 10.3390/su9122237.
- Xu, Sh.-Ch., He, Zh.-X., Long, R.-Y., Shen, W.-X. et al. (2015). Impacts of economic growth and urbanization on CO<sub>2</sub> emissions: regional differences in China based on panel estimation. *Regional Environmental Change*, 16, 777–787. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0795-0>.
- Yang, L., Xia, H., Zhang, X. & Yuan, S. (2018). What matters for carbon emissions in regional sectors? A China study of extended STIRPAT model. *Journal of Cleaner Production*, 180, 595–602. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.01.116.
- Yonghong, L., Gao, C. & Lu, Y. (2017). The impact of urbanization on GHG emissions in China: The role of population density. *Journal of Cleaner Production*, 157, 299–309. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.04.138.
- Zhang C. & Zhou X. (2016). Does foreign direct investment lead to lower CO<sub>2</sub> emissions? Evidence from a regional analysis in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58(C), 943–951. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.226.
- Zhang, S. & Zhao, T. (2019). Identifying major influencing factors of CO<sub>2</sub> emissions in China: Regional disparities analysis based on STIRPAT model from 1996 to 2015. *Atmospheric Environment*, 207, 136–147. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.12.040
- Zhu, H.-M., You, W.-H. & Zeng, Z.-fa. (2012). Urbanization and CO<sub>2</sub> emissions: A semi-parametric panel data analysis. *Economics Letters*, 117(3), 848–850. DOI: 10.1016/j.econlet.2012.09.001.

### Информация об авторах

**Мариев Олег Святославович** — кандидат экономических наук, заведующий кафедрой экономики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; <https://orcid.org/0000-0002-9745-8434> (Российская Федерация, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 19; e-mail: o.s.mariev@urfu.ru).

**Давидсон Наталья Борисовна** — кандидат экономических наук, доцент кафедры международной экономики и менеджмента, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; <https://orcid.org/0000-0002-6779-9561> (Российская Федерация, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 19; e-mail: natalya.davidson@gmail.com).

**Борзова Ирина Андреевна** — студент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; <https://orcid.org/0000-0002-9653-8248> (Российская Федерация, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 19; e-mail: sunny.borzova@list.ru).

### About the authors

**Oleg S. Mariev** — Cand. Sci. (Econ.), Head of Department of Economics, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin; <https://orcid.org/0000-0002-9745-8434> (19, Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russian Federation; e-mail: o.s.mariev@urfu.ru).

**Natalia B. Davidson** — Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of International Economics and Management Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin; <https://orcid.org/0000-0002-6779-9561> (19, Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russian Federation; e-mail: natalya.davidson@gmail.com).

**Irina A. Borzova** — Student, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin; <https://orcid.org/0000-0002-9653-8248> (19, Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russian Federation; e-mail: sunny.borzova@list.ru).

Дата поступления рукописи: 28.07.2021.

Прошла рецензирование: 12.08. 2021.

Принято решение о публикации: 15.09. 2021.

Received: 28 Jul 2021.

Reviewed: 12 Aug 2021.

Accepted: 15 Sep 2021.