

## Влияние урбанизации на выбросы углекислого газа в регионах России

О. С. Мариев  , Н. Б. Давидсон , О. С. Емельянова 

Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, Россия  
 o.s.mariev@urfu.ru

**Аннотация.** В настоящее время в России, как и в других странах мира, существует проблема загрязнения окружающей среды, связанная с экономической деятельностью. Как известно, экономическое развитие происходит одновременно с процессами урбанизации. Целью нашего исследования является оценка влияния урбанизации на выбросы углекислого газа в регионах России. Исследование проводится для 77 российских регионов на основе данных Федеральной службы государственной статистики и Единой межведомственной информационно-статистической системой за 2001–2015 гг. Применяется модель квантильной регрессии, в которой зависимой переменной являются выбросы CO<sub>2</sub> на душу населения. Урбанизация измеряется как доля городского населения в регионах. В модель включен также валовой региональный продукт на душу населения для проверки гипотезы экологической кривой Кузнецца. В качестве контрольных переменных рассматриваются потребление электроэнергии на душу населения, расходы на технологические инновации на душу населения и поступление прямых иностранных инвестиций на душу населения. Для оценки модели используется метод Монте-Карло с Марковскими цепями. Полученные результаты свидетельствуют о том, что урбанизация способствует снижению выбросов CO<sub>2</sub> в регионах России 10-го и 50-го квантилей, тогда как в регионах 25-го, 75-го и 90-го квантилей более высокая урбанизация ведет к увеличению выбросов CO<sub>2</sub>. Кроме того, гипотеза экологической кривой Кузнецца подтверждается для части российских регионов, т. е. с увеличением валового регионального продукта на душу населения выбросы CO<sub>2</sub> увеличиваются до определенной точки, а при дальнейшем росте валового регионального продукта на душу населения они уменьшаются. Как и ожидалось, увеличение потребления энергии приводит к увеличению выбросов CO<sub>2</sub>. Было выявлено, что поступление прямых иностранных инвестиций приводит к снижению выбросов CO<sub>2</sub> для 50-го и 90-го квантилей; для других квантилей переменная «прямые иностранные инвестиции» оказалась незначимой. Мы считаем важным, в частности, тот результат, что с увеличением региональных расходов на технологические инновации выбросы CO<sub>2</sub> снижаются. Результаты исследования могут быть полезны для формирования региональной экологической политики.

**Ключевые слова:** выбросы CO<sub>2</sub>; углекислый газ; экология; урбанизация; экологическая кривая Кузнецца; регионы; Россия.

### 1. Введение

В настоящее время в России, как и в других странах мира, существует проблема загрязнения окружающей среды, связанная с экономической деятельностью. Важно понять, как в ходе

экономического развития свести к минимуму ущерб для окружающей среды.

Как известно, экономическое развитие происходит одновременно с процессами урбанизации, т. е. с растущей долей населения в городах. Урбанизация

генерирует как положительные, так и отрицательные внешние эффекты. Среди положительных внешних эффектов для фирм и индивидов можно отметить переток знаний и информации, возможность совместного использования ресурсов и инфраструктуры, лучше функционирующий рынок труда, а также возможности внедрения более эффективных «зеленых» технологий. Вместе с тем одним из отрицательных внешних эффектов урбанизации является загрязнение окружающей среды, в том числе выбросы вредных веществ в воздух [1].

Таким образом, влияние урбанизации, в частности на окружающую среду, неоднозначно. Поэтому целью нашего исследования является оценка влияния урбанизации на выбросы углекислого газа в регионах России.

Актуальность исследования определена несколькими моментами. Во-первых, данная тема является важной в контексте современной экономической политики. Так, согласно Указу Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 постановлено разработать национальные проекты по нескольким направлениям. Одним из таких направлений является проект «Экология». Срок реализации проекта – с 01.10.2018 по 31.12.2024. Данный национальный проект состоит из 11 федеральных проектов: «Внедрение наилучших доступных технологий», «Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности», «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами», «Оздоровление Волги», «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма», «Сохранение озера Байкал», «Сохранение лесов», «Сохранение уникальных водных объектов», «Чистая страна», «Чистый воздух» и «Чистая

вода». Данный национальный проект является одним из важных проектов, и на его осуществление выделены значительные ресурсы<sup>1</sup>. Большая доля средств направлена на проекты «Внедрение наилучших доступных технологий» (60,07%) и «Чистый воздух» (12,38%), что показывает необходимость действий в сфере выбросов вредных веществ.

Основная цель проекта «Внедрение наилучших доступных технологий» – применение всеми объектами, оказывающими значительное негативное воздействие на окружающую среду, системы экологического регулирования, основанной на использовании наилучших доступных технологий. Проект «Чистый воздух» направлен на реализацию комплексных планов мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в крупных промышленных центрах, включая города Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Читу. В том числе предусматривается уменьшение не менее чем на 20% совокупного объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в наиболее загрязненных городах<sup>2</sup>. Таким образом, актуален анализ влияния процессов урбанизации на загрязнение воздуха, а также анализ возможных мер по снижению уровня загрязнения воздуха в городах.

Во-вторых, Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.02.2019 № 207-р утверждена «Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года». Под пространственным

<sup>1</sup> Национальные проекты: целевые показатели и основные результаты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://static.government.ru/>.

<sup>2</sup> Там же.

развитием понимается совершенствование системы расселения и территориальной организации экономики, в том числе за счет проведения эффективной государственной политики регионального развития.

Согласно данной стратегии, для обеспечения ускорения экономического роста за счет социально-экономического развития перспективных крупных центров экономического роста Российской Федерации предлагается повысить качество и комфортность городской среды. Это планируется осуществить путем обеспечения сбалансированного пространственного развития территорий, входящих в состав крупных и крупнейших городских агломераций. Для этого планируется содействовать межмуниципальному взаимодействию в целях формирования документов стратегического планирования, формирования единой градостроительной политики, решения общих социально-экономических проблем, в том числе инфраструктурных и экологических<sup>3</sup>. Поскольку образование городских агломераций – одна из стадий урбанизации, здесь опять же важен анализ влияния урбанизации на состояние окружающей среды.

В-третьих, вопросы, связанные с окружающей средой, важны в связи с тем, что 21.09.2019 г. было подписано Постановление № 1228 «О принятии Парижского соглашения»<sup>4</sup>. Парижское Соглашение направлено на усиление

<sup>3</sup> Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р // Собрание законодательства Российской Федерации. 2019. № 7. Ст. 702.

<sup>4</sup> О принятии Парижского соглашения: Постановление Правительства Российской Федерации от 21 сентября 2019 г. № 1228 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2019. № 39. Ст. 5430.

глобального реагирования на угрозу изменения климата в контексте устойчивого развития и мер по искоренению нищеты, в том числе посредством удержания прироста глобальной средней температуры ниже 2 °С сверх доиндустриальных уровней. Идея состоит в том, чтобы значительно сократить риски и воздействия изменения климата. В число целей входит также повышение способности адаптироваться к неблагоприятному воздействию изменения климата. Планируется способствовать сопротивляемости к изменению климата и развитию при низком уровне выбросов парниковых газов так, чтобы не ставить под угрозу производство продовольствия. Помимо этого, важным является приведение финансовых потоков в соответствие с траекторией развития, подразумевающей низкий уровень выбросов и сопротивляемость к изменению климата.

Соглашение включает в себя определение вклада отдельных стран в глобальное реагирование на изменение климата, сотрудничество между странами с целью повышения эффективности действий по снижению выбросов и планомерное снижение выбросов CO<sub>2</sub>. Соглашением предусмотрено, что первое глобальное подведение итогов будет осуществлено в 2023 г. Планируется, что далее эта процедура будет проводиться каждые пять лет.

Согласно принципу вклада отдельных стран, Российской Федерацией установлена цель снизить выбросы парниковых газов до уровня «70–75 % выбросов 1990 года к 2030 году при условии максимально возможного учета поглощающей способности лесов»<sup>5</sup>. Особое внимание планируется уделять

<sup>5</sup> Экология и экономика: Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. 2019. № 52. Август // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. 24 с.

повышению энергоэффективности, что является одним из ключевых факторов снижения энергоемкости ВВП и сокращения объема выбросов парниковых газов. В этом контексте важным является также анализ вклада затрат на технологические инновации в снижение выбросов CO<sub>2</sub>; данному аспекту уделяется внимание в нашем исследовании.

Мотивация к исследованию обусловлена также тем, что оценка влияния урбанизации на выбросы загрязняющих веществ в основном осуществляется зарубежными учеными. Большинство эмпирических исследований проводится либо для Китая, либо для групп стран. Таким образом, актуальность данного исследования обусловлена необходимостью оценки влияния урбанизации на выбросы углекислого газа в регионах России. Кроме того, в существующих эмпирических исследованиях нет однозначного ответа на вопрос, положительно влияет урбанизация на выбросы CO<sub>2</sub> или отрицательно.

Целью нашего исследования является оценка влияния урбанизации на выбросы углекислого газа в регионах России.

Первая гипотеза данного исследования состоит в том, что урбанизация способствует росту объема выбросов CO<sub>2</sub> в регионах России, так как Россия находится в процессе развития экономики и больше внимания уделяется развитию регионов и индустриализации. Соответственно, на данном этапе качеству окружающей среды уделяется относительно меньше внимания, что ведет к увеличению выбросов углекислого газа.

Вторая гипотеза: имеет место так называемая экологическая кривая Кузнецца, т. е. при росте дохода на душу населения уровень деградации окружающей среды сначала растет, а затем – по мере достижения определен-

ного уровня благосостояния – начинает снижаться. В основе выполнения данной гипотезы лежат следующие механизмы. С одной стороны, в странах, находящихся на ранних стадиях развития, больше внимания уделяется их развитию и индустриализации. Соответственно, на данном этапе игнорируется качество окружающей среды, что ведет к увеличению выбросов углекислого газа. С другой – в странах, находящихся на более поздних этапах развития, больше внимания уделяется экологии. Государственная политика в этих странах направлена на улучшение окружающей среды, что приводит к снижению выбросов CO<sub>2</sub>. Подобную логику можно применить к регионам с учетом их особенностей в рамках одной страны по сравнению с анализом различных стран мира. Результаты эмпирической проверки данной гипотезы в существующих исследованиях противоречивы.

Работа состоит из нескольких частей: введение, особенности и тенденции состояния окружающей среды и урбанизации, обзор литературы, методы анализа, данные и переменные, выводы и рекомендации.

## **2. Особенности и тенденции состояния окружающей среды и урбанизации**

Рассмотрим источники проблем окружающей среды. В первую очередь необходимо понять, что представляют собой парниковые газы, одним из которых является рассматриваемый в данной работе CO<sub>2</sub>. Парниковый газ – это любое газообразное соединение, которое способно поглощать и испускать инфракрасное излучение, тем самым позволяя меньшему количеству тепла возвращаться в космос, удерживая его в нижних слоях атмосферы.

Основными парниковыми газами в атмосфере Земли являются пары во-

ды, углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) и озон ( $\text{O}_3$ ). По данным Росстата за 2017 г., совокупные выбросы парниковых газов распределены следующим образом: углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) – 76,71 %, метан ( $\text{CH}_4$ ) – 17,78 %, закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) – 4,01 %, другое – 1,8 %. Таким образом, углекислый газ является основным газом, выбрасываемым в атмосферу. Далее он рассмотрен подробно.

Углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) является побочным продуктом сжигания ископаемого топлива и биомассы и выделяется в результате землепользования и другой экономической деятельности.  $\text{CO}_2$  – основной антропогенный парниковый газ. Также углекислый газ является контрольным газом, по которому измеряются другие парниковые газы. В ходе промышленной революции концентрация углекислого газа существенно увеличилась, что привело к процессам глобального потепления.  $\text{CO}_2$  также является основным источником подкисления океана, так как он растворяется в воде с образованием углекислоты.

Выбросы углекислого газа образуются вследствие сжигания нефти, угля и газа для получения энергии, сжигания древесины и отходов, а также от промышленных процессов, таких как производство цемента. В ходе сжигания различные ископаемые виды топлива выделяют различные количества  $\text{CO}_2$  при одинаковом уровне энергии. Например, если сравнить уголь, нефть и природный газ, то сжигание угля приводит к наибольшим объемам выбросов  $\text{CO}_2$ , затем следует нефть и затем природный газ<sup>6</sup>.

Что касается ситуации в мире, объем выбросов  $\text{CO}_2$  с каждым годом растет, и за 2018 г. он составил 33 890,80 млн тонн. Лидирующая позиция по объему

<sup>6</sup> Выбросы  $\text{CO}_2$  [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.economicdata.ru/>

выбросов у Китая (27,82 % от совокупного объема выбросов), на втором месте находятся США (15,18 %), далее следует Индия (7,31 %). Россия занимает четвертое место по уровню выбросов  $\text{CO}_2$  в мире (4,58 %).

Динамика выбросов  $\text{CO}_2$  в России представлена на рис. 1.

В 1990-х гг. происходило значительное сокращение объема выбросов. В целом оно было обусловлено спадом в экономике. В течение последних нескольких лет наблюдается относительная стабильность выбросов углекислого газа. В России выбросы  $\text{CO}_2$  в основном образуются от производства электроэнергии, то есть за счет сжигания ископаемого топлива, в основном угля и природного газа<sup>7</sup>. Выбросы  $\text{CO}_2$  по отраслям в России распределяются следующим образом: энергетика 78,8 %, промышленность 10,8 %, сельское хозяйство 5,9 %, отходы 4,4 % (данные на 2017 г.)<sup>8</sup>.

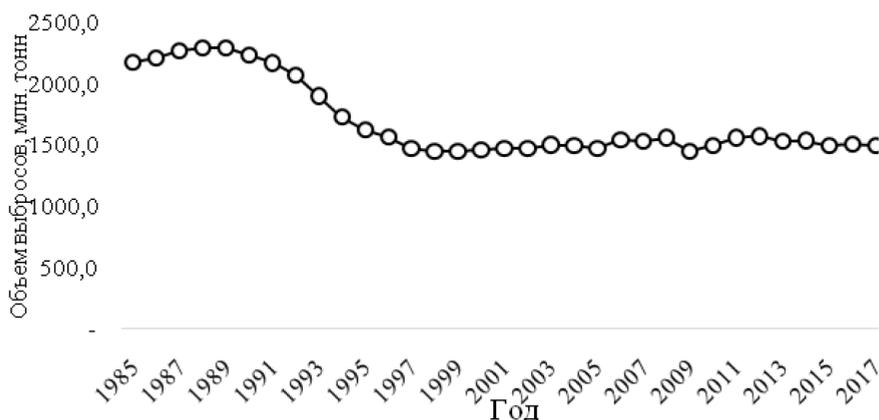
Урбанизация в России может быть рассмотрена в узком понимании слова как рост городов и их населения. В более широком понимании данный процесс предполагает повышение значимости городского образа жизни в развитии современного общества. Современная урбанизация в России связана с процессом объединения больших городов в агломерации<sup>9</sup>.

Лидируют с показателями урбанизации в 100 % Гонконг, Кувейт, Монако, Науру, Сингапур. Незначительно отстает с показателем в 99,1 % Катар,

<sup>7</sup>  $\text{CO}_2$  выбросы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.worldometers.info/>

<sup>8</sup> Экология и экономика: бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. 2019. № 52. Август // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. 24 с.

<sup>9</sup> Агломерация. Что это в географии, определение городская. Крупнейшие агломерации мира, России, Европы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://touristam.com/>

Рис. 1. Динамика выбросов CO<sub>2</sub> в РоссииFig. 1. Dynamics of CO<sub>2</sub> emissions in Russia

далее следует Бельгия 98 %, затем целый блок государств с показателями от 97 до 91 %. Это Сан-Марино, Уругвай, Мальта, Исландия, Израиль, Аргентина, Япония, Нидерланды, Иордании, Люксембург. По состоянию на 2018 г., Россия находилась на 60-м месте по уровню урбанизации<sup>10</sup>.

Динамика уровня урбанизации в России представлена на рис. 2.

На основе анализа данных можно сделать вывод о том, что уровень урбанизации в России растет, и на начало 2019 г. составил 74,6%, хотя темпы урбанизации довольно малы. При этом уровень урбанизации по регионам России заметно различается. В РФ есть реги-

оны с высоким уровнем урбанизации, например Магаданская и Мурманская области, где урбанизация составляет более 90%. Вместе с тем есть регионы, урбанизация в которых на 2019 г. не превышала 30%, например Алтайский край. Также в составе Российской Федерации есть города федерального значения с уровнем урбанизации 98,8% (Москва) и 100% (Санкт-Петербург). Динамика уровня урбанизации также неоднородна. Например, из таких регионов, как Тульская область, Республика Адыгея и др. произошел отток городского населения за период с 2000 по 2018 г. более чем на 5%. В то же время в таких регионах, как Курская область и Республика Ингушетия имел место приток более чем на 7%.

<sup>10</sup> Урбанизация в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosinfostat.ru/>

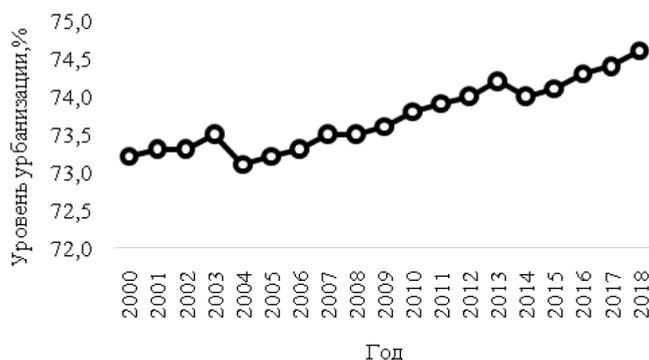


Рис. 2. Динамика уровня урбанизации в России

Fig. 2. Dynamics of urbanization level in Russia

Различная динамика состояния окружающей среды по регионам может быть обусловлена их культурными особенностями, сложными климатическими условиями в некоторых регионах страны, а также неравномерностью развития инфраструктуры и различных других благ. Поэтому рассмотрение регионального уровня урбанизации и ее влияния на выбросы CO<sub>2</sub> может дать более глубокое понимание ситуации, чем анализ на страновом уровне.

Таким образом, сложная экологическая ситуация является важным вопросом, а влияние урбанизации на выбросы CO<sub>2</sub> является актуальной темой для проведения эконометрического исследования.

### 3. Обзор литературы

Неоднозначность влияния урбанизации на выбросы углекислого газа отражается в нескольких теоретических концепциях.

С одной стороны, согласно *теории экологического перехода*, предполагается, что города по мере своего развития сталкиваются с рядом экологических проблем. Так, развитие урбанизации ведет к расширению инфраструктуры, в результате чего происходит увеличение интенсивности пользования транспортом и увеличивается потребление электроэнергии, что приводит к росту выбросов углекислого газа.

С другой стороны, была предложена *концепция компактного города*. В рамках данного подхода города с многофункциональной застройкой и высокой плотностью населения характеризуются плотной застройкой, близостью центров инфраструктуры и городских территорий друг к другу, а также взаимосвязью между районами. Благодаря плотной застройке можно обеспечить централизованное энергообеспечение на уровне всего района,

что приведет к снижению выбросов углекислого газа<sup>11</sup>.

Также следует упомянуть теорию экологической модернизации. Экологическая модернизация – это изменения в соответствии с современными экологическими требованиями и нормами, выполнение которых ведет к устранению противоречий между человеком и средой его обитания, обществом и природой. В мире сложилась социальная система, которая является причиной возникновения и обострения социально-экономических и экологических проблем, различных по уровню, масштабам и характеру. Экологическая ситуация в целом продолжает ухудшаться. Население мира растет, ускоряется стратификация развитых стран, высокие темпы их экономического роста мало сказываются на уровне благосостояния основной части населения, проживающей в развивающихся странах.

Вместе с ростом производства и потребления сырья увеличивается антропогенное загрязнение почвы, воды, воздуха. Происходит опустынивание земель и потепление климата, уменьшается озоновый слой атмосферы, биоразнообразие, плодородие почв, леса. Многие ученые и специалисты оценивают эту ситуацию как социально-экологический кризис, охвативший планету.

В рамках теории экологической модернизации разрабатываются пути выхода из экологического кризиса, что имеет большую практическую значимость. Согласно данной теории, урбанизация на ранних стадиях развития ведет к более интенсивному использованию инфраструктуры, что в свою очередь приводит к увеличению выбро-

<sup>11</sup> Иванов Н. Концепция компактного города [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.msk.kp.ru/>

сов CO<sub>2</sub>. При этом урбанизация на более поздних стадиях развития сопровождается продвинутой энергетической структурой и государственной политикой, направленной на улучшение окружающей среды, что ведет к снижению выбросов CO<sub>2</sub> [2]. Данные теоретические концепции схематично представлены в табл. 1.

Вопросы окружающей среды активно обсуждаются как отечественными, так и иностранными исследователями. Сводная таблица по исследованиям взаимосвязи урбанизации и выбросов CO<sub>2</sub> и полученным результатам представлена ниже (табл. 2).

Авторы подчеркивают, что выбросы CO<sub>2</sub> вредны для здоровья людей и для планеты. Особенно остро проблемы окружающей среды проявляются на урбанизированных территориях. С одной стороны, появление и развитие городских территорий способствовало росту благосостояния общества, развитию культуры, увеличе-

нию многообразия социальной жизни. С другой – урбанизация привела к возникновению и обострению большого количества проблем, в том числе проблем окружающей среды. Поэтому урбанизация заслуживает особого рассмотрения [4].

Результаты эмпирических исследований о влиянии урбанизации на CO<sub>2</sub> неоднозначны. Некоторые авторы приходят к выводу об увеличении объемов выбросов CO<sub>2</sub> в результате урбанизации [1, 5, 6]. Есть также смешанные результаты в зависимости от уровня доходов и урбанизации [3, 7]. Кроме того, в ряде статей приводятся выводы о снижении объемов выбросов CO<sub>2</sub> в результате урбанизации [8, 9].

Гипотеза об экологической кривой Кузнецца подтверждена для всех стран, входящих в G7, кроме Японии [10], для стран со средним и высоким уровнем дохода [3, 11]. Для России некоторые авторы подтверждают данную гипотезу [12], а некоторые нет [13].

Таблица 1. Теоретические концепции взаимосвязи урбанизации и выбросов углекислого газа [3]

Table 1. Theoretical concepts of relations between urbanization and CO<sub>2</sub> emissions

Наименование	Механизм
Теория экологического перехода	Урбанизация ↑ → расширение инфраструктуры → интенсивность пользования транспортом ↑ → потребление электроэнергии ↑ → выбросы углекислого газа ↑
Концепция компактного города	Урбанизация ↑ → Высокая плотность застройки и эффективная система общественного транспорта → потребление электроэнергии ↓, ↑ поездки на велосипедах → загрязнение окружающей среды ↓
Теория экологической модернизации	Урбанизация на ранней стадии развития → более интенсивное использование инфраструктуры → выбросы углекислого газа ↑ Урбанизация на более поздней стадии развития → более продвинутая энергетическая структура и ориентация политики на улучшение окружающей среды → выбросы углекислого газа ↓

Таблица 2. Результаты исследований взаимосвязи урбанизации и выбросов CO<sub>2</sub> зарубежными авторами

Table 2. Relation between urbanization and CO<sub>2</sub> emissions: the results received by foreign researchers

Автор	Статья	Объясняющие переменные	География	Результаты
Salman и др.	Effect of urbanization and international trade on CO <sub>2</sub> emissions across 65 belt and road initiative countries (2020)	Урбанизация, ВВП, численность населения, потребление электроэнергии, ПИИ, экспорт и импорт	65 стран, разделены по уровню дохода на низкий, средний и высокий	Выявлена перевернутая U-образная связь между урбанизацией и выбросами CO <sub>2</sub> в группе с высоким уровнем дохода
Rafaqet Ali и др.	Impact of urbanization on CO <sub>2</sub> emissions in emerging economy: Evidence from Pakistan (2019)	Урбанизация, потребление электроэнергии, ВВП	Пакистан	Урбанизация оказывает положительное влияние на выбросы
QichangXie и др.	Combined nonlinear effects of economic growth and urbanization on CO <sub>2</sub> emissions in China: Evidence from a panel data partially linear additive model (2019)	Урбанизация, ВВП, потребление электроэнергии, распространение технологий и промышленная модернизация	Провинции Китая	Неоднородные результаты для разного уровня дохода и урбанизации
Hamisu Sadi Ali и др.	Urbanization and carbon dioxide emissions in Singapore: evidence from the ARDL approach (2016)	Урбанизация, ВВП, открытость торговли	Сингапур	Урбанизация оказывает отрицательное влияние на выбросы углерода
Bin Xu и др.	A quantile regression analysis of China's provincial CO <sub>2</sub> emissions: Where does the difference lie? (2016)	Урбанизация, численность населения, ВВП, энергоэффективность, индустриализация, структура энергии	Провинции Китая	Влияние урбанизации положительно влияет на выбросы CO <sub>2</sub> (влияние возрастает от нижнего квантиля к верхнему)

Окончание табл. 2

End of table 2

Автор	Статья	Объясняющие переменные	География	Результаты
Susan Sunila Sharma	Determinants of carbon dioxide emissions: Empirical evidence from 69 countries (2011)	Урбанизация, темп роста ВВП, открытость торговли, потребление электроэнергии	69 стран, разделены по уровню дохода на низкий, средний и высокий	Урбанизация оказывает отрицательное влияние для общей модели
Phetkeo Poumanyong и др.	Does urbanization lead to less energy use and lower CO <sub>2</sub> emissions? A cross-country analysis (2010)	Урбанизация, ВВП, энергоёмкость, доля промышленности в ВВП, доля сферы услуг в ВВП, потребление электроэнергии	99 стран, разделены по уровню дохода на низкий, средний и высокий	Урбанизация оказывает положительное влияние на выбросы во всех группах; наибольшее влияние выявлено в странах со средним доходом

Источник: составлено авторами.

Что касается исследований на основе данных по российским регионам, то для большинства регионов с высокими доходами характерен общий рост уровня загрязнения с развитием экономики, а для регионов с низкими эколого-экономическими показателями характерно уменьшение. К наиболее развитым регионам отнесены регионы с высокой долей металлургии, добывающих производств и целлюлозно-бумажной промышленности. Именно эти предприятия загрязняют окружающую среду сильнее остальных. В данном исследовании гипотеза о существовании экологической кривой Кузнеця для большинства регионов РФ не подтвердилась, так как рассматриваемые регионы находятся на восходящей кривой Кузнеця [14].

По мнению исследователей, экологическая политика должна подразумевать увеличение инвестиций в инфраструктуру для повышения энергоэффективности и активизации поли-

тики энергосбережения с целью сокращения ненужных потерь энергии [13]. Авторы рекомендуют развивать такие источники возобновляемой энергии, как солнечная энергия, гидроэнергия, энергия ветра на суше и в море и др. [3].

Также проводились исследования взаимосвязи интенсивности НИОКР и выбросов CO<sub>2</sub>, где в результате выяснилось, что увеличение интенсивности НИОКР снижает выбросы CO<sub>2</sub>. Стратегия технологического сотрудничества между странами для обмена знаниями и повышения продуктивности исследований и разработок поможет в борьбе с изменением климата [10]. В то же время разработка технологий и соответствующих решений в области экономической политики также может смягчить воздействие экономической деятельности на загрязнение воздуха [10, 14, 15].

Что касается роли прямых иностранных инвестиций, здесь важно со-

стояние экологического регулирования в принимающей стране. Большинство развивающихся стран, как правило, имеют более слабое экологическое регулирование, чем развитые страны. Транснациональные корпорации могут выводить свою деятельность из стран с жестким экологическим регулированием в развивающиеся страны, чтобы сократить расходы на борьбу с выбросами. Следовательно, из-за притока прямых иностранных инвестиций развивающиеся страны могут становиться районом загрязнения, поскольку прямые иностранные инвестиции увеличивают выбросы CO<sub>2</sub> [3]. Чтобы избежать данной закономерности и, напротив, использовать преимущества, связанные с притоком прямых иностранных инвестиций, необходимо в том числе развитие законодательства в сфере окружающей среды.

Зачастую неоднородность между странами и регионами внутри страны с точки зрения выбросов CO<sub>2</sub> и связанной с ними экономической деятельности является существенной. В связи с этим некоторыми авторами применяется модель квантильной регрессии [16, 17]. Данный метод используется в ряде статей [3, 5, 11]. В данном исследовании мы также применяем этот метод.

## 4. Методология исследования

### 4.1. Методы анализа

В нашей работе используется метод квантильных регрессий на основе панельных данных с использованием метода оптимизации Монте-Карло с Марковскими цепями (МСМС). Метод квантильных регрессий был впервые представлен в статье [18].

Квантильные регрессии используются, когда объясняющие переменные могут оказывать различное влияние в различных точках условного распределения зависимой перемен-

ной. Благодаря этим гетерогенным эффектам можно получить выводы, которые невозможно сделать на основе регрессии, в рамках которой оцениваются средние значения зависимой переменной.

Данный метод имеет следующие преимущества по сравнению с методом наименьших квадратов. Во-первых, квантильная регрессия не основана на существовании функции моментов. Во-вторых, результаты более устойчивы, т. к. на них не влияют «выбросы». В-третьих, не делается допущений о распределении, что позволяет получить более точные результаты оценки. В-четвертых, в модели минимизируется сумма квадратов остатков методом линейного программирования, и модель включает в себя упрощенный тест. Метод квантильных регрессий устойчивый и устойчивый, особенно если имеет место гетероскедастичность ошибки и распределение не является нормальным [5].

График плотности распределения выбросов CO<sub>2</sub> на основе данных, используемых в нашем исследовании, представлен на рис. 3.

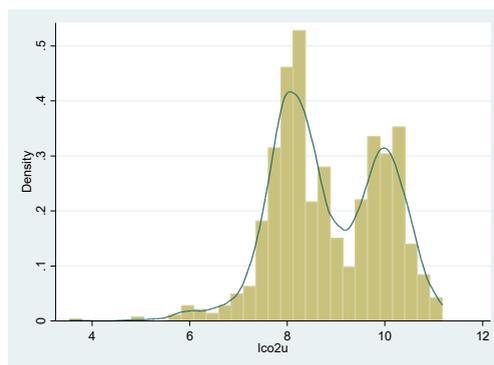


Рис. 3. График плотности распределения выбросов CO<sub>2</sub>

Fig. 3. Probability density function of CO<sub>2</sub> emissions

Согласно графику, можно сделать вывод о том, что плотность распределения является N-образной, поэтому целе-

сообразно применение квантильных регрессий и метода оценки Монте-Карло с Марковскими цепями, который будет описан ниже.

Панельные данные обычно используются для того, чтобы учесть ненаблюдаемую гетерогенность и использовать преимущества метода фиксированных эффектов. Поскольку как метод квантильных регрессий, так и метод фиксированных эффектов имеют свои преимущества, объединение этих методов привлекло внимание ученых [19].

В частности, Powell предложил метод, основанный на неаддитивных фиксированных эффектах [20]. Большинство методов оценивания квантильных регрессий на основе панельных данных включают аддитивные фиксированные эффекты, которые разделяют случайную ошибку и подразумевают допущение, что параметры варьируются только на основе варьирующегося со временем компонента ошибки. Метод, основанный на неаддитивных фиксированных эффектах, подразумевает оценку на основе вариации «внутри» для целей идентификации, но при этом позволяет сохранить свойство неразделяемой ошибки, которое является преимуществом квантильных регрессий. Такой подход позволяет достичь точности оценки для отдельных квантилей.

Результаты симуляций показали, что данный метод работает хорошо, даже когда квантильная регрессия с инструментальными переменными и квантильный метод оценки с аддитивными фиксированными эффектами являются смещенными. Квантильная регрессия с панельными данными состоятельна для небольшого количества объясняющих переменных и проста в применении [20].

Существует несколько подходов к оцениванию квантильных регрессий

с панельными данными, в т. ч. методы Монте-Карло с Марковскими цепями и gridsearch [19, 20]. Если объясняющих переменных больше, чем две, то в качестве метода оптимизации эффективнее использовать не gridsearch, а метод Монте-Карло с Марковскими цепями [20].

В рамках метода Монте-Карло с Марковскими цепями, построив Марковскую цепь, равновесное распределение которой – это целевое распределение, можно получить выборку с целевым распределением. Чем больше шагов будет использовано, тем ближе распределение выборки будет к целевому<sup>12</sup>. Метод МСМС подходит для случаев сложных функций распределения, а также когда максимизация целевой функции является трудоемкой, например в случае нарушения непрерывности или вогнутости целевой функции, широкого диапазона параметров и т. д. Метод МСМС является достаточно распространенным вариантом применения Байесовского метода оценивания, поскольку позволяет избежать трудно вычисляемых нормализующих констант, характерных для апостериорных распределений [21].

Для построения цепей используются различные алгоритмы, в том числе алгоритм Метрополиса – Гастингса. Алгоритм Метрополиса – Гастингса, используемый в методе МСМС, генерирует марковскую цепь, используя вспомогательную функцию распределения и фильтрацию новых шагов<sup>13</sup>. Таким об-

<sup>12</sup> Марковская цепь Монте-Карло [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://blog.stata.com/2016/11/15/introduction-to-bayesian-statistics-part-2-mcmc-and-the-metropolis-hastings-algorithm/>

<sup>13</sup> Алгоритм Метрополиса – Гастингса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://blog.stata.com/2016/11/15/introduction-to-bayesian-statistics-part-2-mcmc-and-the-metropolis-hastings-algorithm/>

разом, при построении модели можно учесть особенности плотности распределения выбросов  $\text{CO}_2$ .

Важным аспектом использования данного метода является определение количества шагов, которое потребуется для сходимости к стационарному распределению с приемлемой ошибкой. Стоит отметить, что точных рекомендаций по количеству шагов, которые стоит использовать при построении модели, не существует. Количество шагов обычно подбирают, строя несколько моделей с разным количеством шагов.

Для построения квантильной регрессии с панельными данными использовалась команда `qregpd` программы Stata [20]. Следующая часть посвящена описанию данных и переменных, включенных в модель.

#### 4.2. Данные и переменные

Эконометрическое исследование основано на данных по 77 регионам РФ за период с 2001 по 2015 г. включительно. Источники данных – Федеральная служба государственной статистики<sup>14</sup> и Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС)<sup>15</sup>.

В качестве объясняемой переменной взят показатель выбросов  $\text{CO}_2$  на душу населения. В данном показателе учтены выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух в результате теплоэнергетических процессов, направленных на выработку электроэнергии и теплоэнергии (включая горячее водоснабжение) на производственные нужды и на нужды населения. Показатель

<sup>14</sup> Федеральная служба государственной статистики (Росстат) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gks.ru/>

<sup>15</sup> Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/>

выбросов  $\text{CO}_2$  взят из базы данных ЕМИСС.

Объясняющие переменные – валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения, ВРП на душу населения в квадрате, поступление прямых иностранных инвестиций на душу населения, потребление электроэнергии на душу населения, затраты на технологические инновации на душу населения и переменная, отражающая урбанизацию – доля городского населения. Объясняющие переменные составлены на основе базы данных Росстат.

Включение в модель валового регионального продукта на душу населения позволяет проверить гипотезу о существовании экологической кривой Кузнецца, т. е. о том, что влияние валового регионального продукта на выбросы  $\text{CO}_2$  имеет форму перевернутой U [22].

Для включения в модель все переменные, кроме доли городского населения, были логарифмированы.

Расшифровка показателей, используемых для построения модели, представлена в табл. 3.

Далее в табл. 4 представлена описательная статистика используемых переменных.

На основе анализа данных табл. 4 можно сделать следующие выводы. Во-первых, между регионами наблюдаются существенные различия выбросов углекислого газа в атмосферу. Разница между минимальным и максимальным значением логарифма переменной выбросов  $\text{CO}_2$  составляет примерно 5 раз.

Во-вторых, значение валового регионального продукта на душу населения в выборке также существенно варьируется. В-третьих, минимальное значение логарифма поступления прямых иностранных инвестиций на душу населения является отрицательным, т. к. в некоторых регионах значение данного показателя меньше единицы, поскольку

Таблица 3. Показатели, используемые в модели, и их обозначения при работе в программе «Stata»

Table 3. Variables employed in the model and their names in Stata

Переменная и единица измерения	Обозначение в программе
<b>Объясняемые</b>	
Выброшено в атмосферу загрязняющих веществ за отчетный год от сжигания топлива (для выработки электро- и теплоэнергии) (углерод оксид) на душу населения, (т/чел.), логарифм	lco2u
<b>Объясняющие</b>	
ВРП на душу населения (руб./чел.), логарифм	lcgrpu
ВРП на душу населения в квадрате (руб./чел.), логарифм	lcgrpu2
Поступление прямых иностранных инвестиций на душу населения (руб./чел.), логарифм	lfdiu
Потребление электроэнергии на душу населения (кВт/ч на человека), логарифм	leuu
Затраты на технологические инновации на душу населения (руб./чел.), логарифм	lticu
Доля городского населения (%)	shup

в них не поступают прямые иностранные инвестиции.

В-четвертых, потребление электроэнергии на душу населения также существенно варьируется между регионами. Кроме того, минимальное значения логарифма затрат на технологические инновации на душу населения является

отрицательным, т. к. в некоторых регионах значение данных затрат меньше единицы. Что касается основной переменной, представляющей интерес в данном исследовании, значение между минимальным и максимальным значением доли городского населения в выборке различается примерно в 4 раза.

Таблица 4. Описательная статистика

Table 4. Descriptive statistics

Переменная	Число наблюдений	Среднее	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум
lco2u	1,155	-5.032926	1.178787	-10.27333	-2.640869
lcgrpu	1,155	11.66074	.872899	9.278041	14.24605
lcgrpu2	1,155	136.7342	20.32702	86.08204	202.95
lfdiu	1,054	6.770865	2.494601	-5.611398	13.02108
leuu	1,155	8.630256	.577144	7.11445	10.40906
lticu	1,131	6.744076	1.699234	-.569849	11.66549
shup	1,155	69.87475	12.39798	26	100

На рис. 4 представлен график логарифма выбросов CO<sub>2</sub> на душу населения.

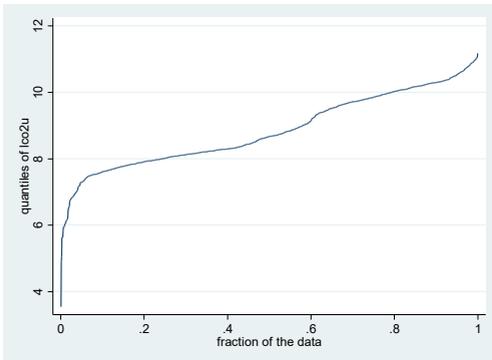


Рис. 4. График логарифма выбросов CO<sub>2</sub> на душу населения

Fig. 4. Logarithm of  $lCO_2$  emissions per capita

На графике видна неоднородность значений переменной, поэтому целесообразно применение метода квантильных регрессий.

Мы оцениваем следующую спецификацию эконометрической модели:

$$lCO_{2it} = \alpha_{it} + \beta_1 lgrpu_{it} = \beta_2 (lgrpu_{it}) + \beta_3 lfdiu_{it} + \beta_4 leuu_{it} + \beta_5 lticu_{it} + \beta_6 shup_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Далее представлены результаты оценки эконометрической модели с помощью метода квантильной регрессии на основе панельных данных.

## 5. Результаты оценки эконометрической модели

В результате построения панельных квантильных регрессий с использованием метода оптимизации Монте-Карло с Марковскими цепями была выбрана модель, наилучшим образом описывающая данные. Полученные результаты отражены в табл. 5. Построение модели осуществлялось с разбивкой на квантили: 10, 25, 50, 75 и 90%. Также в табл. 5 пред-

ставлена модель с фиксированными эффектами.

Гипотеза о существовании экологической кривой Кузнеця выполняется для 50, 75 и 90% квантилей. Наибольший эффект прослеживается в 75% квантиле, где при увеличении валового регионального продукта (ВРП) на душу населения на 1% объем выбросов углекислого газа увеличивается на 2,645%, а при увеличении ВРП на душу населения в квадрате на 1% объем выбросов углекислого газа снижается на 0,136%. Обратный эффект прослеживается в 25% квантиле. Соответственно, в нем гипотеза о существовании экологической кривой Кузнеця не подтверждается, что справедливо и для 10% квантиля. Неоднородные результаты для регионов России также были получены в статье [14].

Влияние прямых иностранных инвестиций на выбросы CO<sub>2</sub> выявлено на уровне 50 и 90% квантилей. При этом результаты показали, что прямые иностранные инвестиции (ПИИ) способствуют снижению уровня выбросов CO<sub>2</sub>, когда данная переменная значима. В 50% квантиле увеличение поступлений ПИИ на душу населения на 1% приводит к снижению объема выбросов CO<sub>2</sub> на 0,047%, а в 90%-м квантиле – на 0,029%.

Во всех квантилях 10, 25, 50, 75 и 90% увеличение потребления электроэнергии на душу населения на 1% приводит к увеличению объема выбросов углекислого газа: на 1,133, 1,032, 1,370, 0,757 и 0,899% соответственно. Наибольшее влияние выявлено в квантилях с низким и средним уровнем выбросов. Выявленная положительная взаимосвязь потребления электроэнергии и выбросов CO<sub>2</sub> согласуется с результатами исследований других авторов.

Взаимосвязь затрат на технологические инновации и выбросов CO<sub>2</sub> в данном исследовании выявлена на уров-

Таблица 5. Результаты оценки панельной квантильной регрессии с использованием метода оптимизации MCMC

Table 5. The results of estimating panel quantile regression with MCMC method

Переменная	Fe (robust)	q10	q25	q50	q75	q90
lcgrpu	-0.453 (0.514)	0.183 (0.152)	-0.654*** (0.032)	0.439*** (0.010)	2.645*** (0.829)	1.604*** (0.373)
lcgrpu2	0.014 (0.023)	-0.023*** (0.007)	0.023*** (0.002)	-0.015*** (0.000)	-0.136*** (0.038)	-0.042** (0.016)
lfdiu	0.009 (0.007)	-0.004 (0.003)	0.004 (0.002)	-0.047*** (0.000)	-0.016 (0.014)	-0.029*** (0.005)
leuu	0.362** (0.178)	1.333*** (0.017)	1.032*** (0.009)	1.370*** (0.003)	0.757*** (0.079)	0.899*** (0.018)
lticu	0.017 (0.016)	0.011 (0.011)	-0.095*** (0.007)	-0.170*** (0.002)	0.038 (0.030)	-0.368*** (0.006)
shup	0.022* (0.012)	-0.011*** (0.001)	0.015*** (0.000)	-0.001*** (0.000)	0.038*** (0.008)	0.004*** (0.001)
_cons	-6.403 (3.871)					
N	1 050					
R <sup>2</sup>	0,0611					

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

не 25, 50 и 90 % квантилей. В данных квантилях увеличение затрат на технологические инновации на душу населения на 1 % приводит к снижению объема выбросов углекислого газа на 0,095, 0,170 и 0,368 % соответственно. Данный результат согласуется с исследованиями [7, 10, 14].

Влияние урбанизации в данном исследовании подтверждено на уровне всех квантилей и имеет различную направленность. В 10 и 50 % квантилях при увеличении доли городского населения на 1 % объем выбросов углекислого газа снижается на 0,011 и 0,001 % соответственно. В 25 и 50 % квантилях увеличение доли городского населения

на 1 % приводит к увеличению объема выбросов углекислого газа на 0,015 и 0,004 % соответственно. Наибольший эффект достигается в 75 % квантиле, где увеличение доли городского населения на 1 % приводит к увеличению объема выбросов углекислого газа на 0,038 %. Неоднородные результаты влияния урбанизации на выбросы CO<sub>2</sub> были получены также в других исследованиях, упомянутых выше в разделе, посвященном обзору литературы (см. табл. 2).

Таким образом, можно увидеть, что результаты различаются для различных квантилей, а значит, использование квантильных регрессий было оправданным.

## 6. Обсуждение результатов

Итак, мы рассмотрели факторы, которые влияют на выбросы углекислого газа в атмосферу. Понимание этих факторов необходимо, поскольку в настоящее время снижение выбросов CO<sub>2</sub> является одной из первоочередных задач. Важно не допустить усиления глобального потепления, которое уже приводит к аномально высоким температурам, последствия которых – засухи, пожары, угроза для жизни людей и для природы. В рамках вышеупомянутого Парижского соглашения идет речь об удержании прироста глобальной средней температуры ниже 2 °С сверх доиндустриальных уровней, а желательно, ниже 1,5 °С. Это возможно только при условии сокращения выбросов парниковых газов<sup>16</sup>.

В связи со снижением деловой активности вследствие COVID-19 уровень выбросов снизился, но этот эффект является краткосрочным. С возобновлением работы экономики в докризисном режиме уровень выбросов парниковых газов быстро возвращается на прежний уровень [23]. Чтобы улучшить состояние окружающей среды, необходимо выходить из текущего кризиса, ориентируясь на использование «зеленых» технологий<sup>17</sup>.

Полученные в нашем исследовании результаты показывают противоречивое влияние *урбанизации* на выбросы CO<sub>2</sub>. Это подчеркивает важность использования возможностей снижения выбросов в атмосферу вредных веществ, в т. ч. CO<sub>2</sub>, которые дает урбанизация,

<sup>16</sup> Парижское соглашение. ООН. 2015 (Paris Agreement, UN, 2015). Режим доступа: [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)

<sup>17</sup> Инновации в сфере чистой энергетики во время COVID-19 (Clean energy innovation in times of COVID-19 crisis, IEA). 7.07.2020. Режим доступа: <https://www.iea.org/articles/clean-energy-innovation-in-the-covid-19-crisis>

и в то же время минимизации рисков для окружающей среды, связанных с урбанизацией [1, 24]).

Во многих случаях авторы находят подтверждение *гипотезы об экологической кривой Кузнеця*, т. е. о том, что влияние валового регионального продукта на выбросы CO<sub>2</sub> имеет форму перевернутой U, для различных групп стран, а также для регионов России [12, 22, 25]. Наш вывод о том, что влияние валового регионального продукта на выбросы CO<sub>2</sub> имеет форму перевернутой U, соответствует выводам этих работ. Важно отметить, что в соответствии с результатами недавних исследований, большинство российских регионов находится на возрастающей ветви кривой Кузнеця. Иными словами, с ростом доходов во многих регионах растут выбросы CO<sub>2</sub> [12].

*Потребление электроэнергии на душу населения*, в свою очередь, конечно же, является неотъемлемым компонентом экономического развития, но при этом приводит к росту выбросов CO<sub>2</sub>, что и подтвердилось в нашем исследовании.

Таким образом, результаты показывают, что *экономическое развитие и урбанизация* могут влиять как положительно, так и отрицательно на состояние окружающей среды. Это говорит о необходимости разработки и внедрения дополнительных мер по снижению объемов выбросов.

Наши результаты показывают также, что *затраты на технологические инновации* на душу населения способствуют снижению выбросов CO<sub>2</sub>. Здесь важно то, что наряду с очевидным улучшением экологической обстановки ученые говорят об экономических возможностях, связанных с «зеленым ростом» [26].

Также оценка модели на основе используемых данных показала, что по-

ступление прямых иностранных инвестиций на душу населения способствует снижению выбросов CO<sub>2</sub>. Как упоминалось в обзоре литературы, встречается как положительное, так и отрицательное влияние прямых иностранных инвестиций на окружающую среду. В частности, существенную роль в этом процессе играет уровень развития законодательства в сфере охраны окружающей среды [27].

Для работы над мерами по снижению объемов выбросов полезно рассмотреть опыт других стран. При этом особый интерес вызывают страны, где в последние годы наблюдался существенный рост экономики, что привело к проблемам, связанным с окружающей средой. Так, Китай в ходе Парижской конференции по изменениям климата в 2015 г. объявил о цели достичь пика выбросов не позднее 2030 г. на основе ряда принимаемых мер [26, 28]).

Снижению выбросов CO<sub>2</sub> способствуют энергосберегающие технологии, а также технологии, ориентированные на защиту окружающей среды. Кроме того, на состоянии окружающей среды благоприятно сказывается сокращение устаревших производственных мощностей и развитие секторов экономики, в меньшей степени загрязняющих окружающую среду. Регулирование климата может осуществляться посредством управления «сверху вниз», при помощи частных волонтерских инициатив и неправительственных организаций [26].

Развитие системы общественного транспорта, улучшение городского планирования, применение энергоэффективных (зеленых) технологий и посадка деревьев будут способствовать уменьшению выбросов [4, 16]. Кроме того, важной является поддержка правительством программ, направленных на информирование людей в образовательных учреждениях и средствах массовой

информации об экологических проблемах и возможностях защиты окружающей среды [4].

Таким образом, для работы над снижением выбросов CO<sub>2</sub> целесообразно учитывать международный опыт работы над снижением уровня выбросов, при этом ориентируясь на факторы, связанные с развитием российских регионов.

## 7. Выводы и рекомендации

В данном исследовании было рассмотрено влияние урбанизации и других факторов, оказывающих влияние на выбросы углекислого газа в регионах России. Исследование было проведено на основе панельных квантильных регрессий и метода оптимизации Монте-Карло с Марковскими цепями. Это позволило получить более точные результаты путем разделения уровня выбросов углекислого газа на квантили 10, 25, 50, 75 и 90%.

Гипотеза о положительном влиянии урбанизации на выбросы CO<sub>2</sub> подтвердилась частично. В более высоких квантилях урбанизация увеличивает выбросы CO<sub>2</sub> (25, 75 и 90%). Наибольший эффект достигается в 75% квантиле. В квантилях 10 и 50% увеличение урбанизации ведет к снижению выбросов CO<sub>2</sub>. Гипотеза о выполнении экологической кривой Кузнеця также подтвердилась частично. Гипотеза выполняется в квантилях со средним и высоким уровнем выбросов CO<sub>2</sub> (50, 75 и 90%).

Поступление прямых иностранных инвестиций в данном исследовании значимо на уровне 50 и 90% квантилей, и приток иностранных инвестиций в регионы снижает уровень выбросов. Результаты показали, что во всех регионах потребление электроэнергии увеличивает выбросы CO<sub>2</sub>. Наибольшее влияние прослеживается в регионах с более низким уровнем выбросов.

Также результаты данного исследования показывают, что в 25,50 и 90 % квантилях затраты на технологические инновации сокращают уровень выбросов. Наибольший эффект прослеживается в регионах с самым высоким уровнем выбросов. В остальных квантилях затраты на технологические исследования и разработки не оказывают влияния на выбросы CO<sub>2</sub>.

На основе полученных результатов можно сформулировать несколько рекомендаций. Во-первых, регионам необходимо сотрудничать друг с другом в процессе создания и внедрения инноваций, т. к. в одних регионах затраты на технологические инновации эффективнее, чем в других. Тем регионам, где затраты на технологические инновации не оказывают влияние на уровень выбросов CO<sub>2</sub>, следует перенять опыт других регионов, чтобы технологические инновации использовались эффективно и помогали улучшить качество окружающей среды.

Во-вторых, целесообразно привлекать прямые иностранные инвестиции, связанные с чистым производством и «зеленой» промышленностью. Следует осуществлять модернизацию, внедрять экологически чистые технологии и перенимать опыт зарубежных специалистов.

В-третьих, регионам со средним и высоким уровнем выбросов необходимо сотрудничать с иностранными фир-

мами, осуществляющими инвестиции с целью перетока знаний.

В-четвертых, целесообразно принятие мер по оптимизации потребления электроэнергии во всех регионах, поскольку повышение энергоэффективности приведет к снижению энергоемкости ВВП и сокращению объема выбросов CO<sub>2</sub>.

В-пятых, следует инвестировать в зеленую инфраструктуру, создание зеленых зон и качество жизни населения, особенно в регионах с высоким уровнем выбросов, где урбанизация ведет к увеличению выбросов CO<sub>2</sub>. Кроме того, меры по снижению выбросов углекислого газа следует разрабатывать и использовать с учетом специфики каждого региона.

Результаты данного исследования могут быть учтены при разработке политики регионов в области улучшения окружающей среды. Также стоит отметить, что результаты данной работы могут стать основой для дальнейших исследований в области анализа выбросов углекислого газа на региональном уровне.

Для продолжения исследования в дальнейшем целесообразно учесть отраслевую специфику и географическое положение регионов России. На наш взгляд, актуально также рассмотреть показатели, влияющие на выбросы других видов загрязняющих веществ в атмосферу.

#### Список использованных источников

1. *Ali R., Bakhsh K., Yasin M.* Impact of urbanization on CO<sub>2</sub> emissions in emerging economy: Evidence from Pakistan // *Sustainable Cities and Society*. 2019. Vol. 48. Pp. 101553. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101553.
2. *Кулясов И. П.* Экологическая модернизация: теоретические аспекты // *Социология и социальная антропология*. 2005. № 3. С. 100–113.
3. *Muhammad S., Long X., Salman M., Dauda L.* Effect of urbanization and international trade on CO<sub>2</sub> emissions across 65 belt and road initiative countries // *Energy*. 2020. Vol. 196. Pp. 102–117. DOI: 10.1016/j.energy.2020.117102.
4. *Бондарев В. П.* Инвайроментальные проблемы Московской агломерации // *Вестник Московского университета. Серия 18. Социология и политология*. 2014. № 4. С. 138–165.

5. *Xu B., Lin B.* A quantile regression analysis of China's provincial CO<sub>2</sub> emissions: Where does the difference lie? // *Energy Policy*. 2016. Vol. 98. Pp. 328–342. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.09.003.
6. *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, Issue 2. Pp. 434–444.
7. *Xie Q., Liu J.* Combined nonlinear effects of economic growth and urbanization on CO<sub>2</sub> emissions in China: Evidence from a panel data partially linear additive model // *Energy*. 2019. Vol. 186. Pp. 115868. DOI: 10.1016/j.energy.2019.115868.
8. *Ali H., Abdul-Rahim A., Bashir Ribadu M.* Urbanization and carbon dioxide emissions in Singapore: evidence from the ARDL approach // *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 24. Pp. 1967–1974. DOI: 10.1007/s11356-016-7935-z.
9. *Sharma S.* Determinants of carbon dioxide emissions: Empirical evidence from 69 countries // *Applied Energy*. 2011. Vol. 88, Issue 1. Pp. 376–382.
10. *Churchill S., Inekwe J., Smyth R., Zhang X.* R&D intensity and carbon emissions in the G7: 1870–2014 // *Energy Economics*. 2019. Vol. 80. Pp. 30–37. DOI: 10.1016/j.eneco.2018.12.020.
11. *Ike G., Usman O., Sarkodie S.* Testing the role of oil production in the environmental Kuznets curve of oil producing countries: New insights from Method of Moments Quantile Regression // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 711. Pp. 135208. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135208.
12. *Иванова В.* ВВП и загрязнение окружающей среды в регионах России: пространственно-эконометрический анализ // *Квантиль*. 2019. № 14. С. 53–62.
13. *Pao H.-T., Yu H., Yang Y.* Modeling the CO<sub>2</sub> emissions, energy use, and economic growth in Russia // *Energy*. 2011. Vol. 36, Issue 8. Pp. 5094–5100. DOI: 10.1016/j.energy.2011.06.004.
14. *Шкуперова Т.Г.* Экологическая кривая Кузнеця как инструмент исследования регионального развития // *Экономический анализ: теория и практика*. 2013. № 19. С. 8–15.
15. *Zemtsov S. P., Baburin V. L., Kidyayeva V. M.* Innovation clusters and prospects for environmental management in Russia // *Geography and Natural Resources*. 2018. Vol. 39, Issue 1. Pp. 10–15. DOI: 10.1134/S187537281801002X.
16. *Buchinsky M.* Recent advances in quantile regression models: A practical guideline for empirical research // *Journal of Human Resources*. 1998. Vol. 33, Issue 1. Pp. 88–126.
17. *Koenker R.* *Quantile Regression*. Cambridge University Press, 2005. 349 p. DOI: 10.1017/CBO9780511754098.
18. *Koenker R., Bassett J.* Regression quantiles // *Econometrica*. 1978. Vol. 46, Issue 1. Pp. 33–50.
19. *Powell D.* *Quantile Treatment Effects in the Presence of Covariates*. RAND Corporation. 2017. Pp. 1–28.
20. *Powell D.* *Quantile Regression with Nonadditive Fixed Effects. Quantile Treatment Effects*. RAND Corporation, 2016. 33 p.
21. *Baker M.* Adaptive Markov chain Monte Carlo sampling and estimation in Mata // *The Stata Journal*. 2014. Vol. 14, Issue 3. Pp. 623–661.
22. *Grossman G. M., Krueger A. B.* Environmental Impact of a North American Free Trade Agreement // NBER Working Paper. No. 3914. National Bureau of Economic Research, 1991. 55 p.
23. *Forster P. M., Forster H. I., Evans M. J., Gidden M. J., Jones C. D., Keller C. A., Lamboll R. D., Quéré C. L., Rogelj J., Rosen D., Schleussner C.-F., Richardson T. B., Smith C. J., Turnock S. T.* Current and future global climate impacts resulting from COVID-19 // *Nature Climate Change*. 2020. DOI: 10.1038/s41558-020-0883-0.
24. *Wang N., Zhu H., Guo Y., Peng Ch.* The heterogeneous effect of democracy, political globalization, and urbanization on PM<sub>2.5</sub> concentrations in G20 countries: Evidence from panel quantile regression // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 194, Issue 1. Pp. 54–68. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.05.092.
25. *Давидсон Н.Б., Мариев О.С., Баев Д.В.* Эконометрическая оценка влияния прямых зарубежных инвестиций на окружающую среду // *Журнал экономической теории*. 2019. Т. 16, № 3. С. 575–580. DOI: 10.31063/2073-6517/2019.16-3.22.

26. Zheng J., Zhifu M., Coffman D., Milcheva S., Shan Y., Guan D., Wang Sh. Regional development and carbon emissions in China // *Energy Economics*. 2019. Vol. 81. Pp. 25–36. DOI: 10.1016/j.eneco.2019.03.003.

27. Doytch N., Uctum M. Globalization and the environmental spillovers of sectoral FDI // *Economic Systems*. 2012. Vol. 40, Issue 4. Pp. 582–594. DOI: 10.1016/j.ecosys.2016.02.005.

28. Zhou B., Zhang C., Song H., Wang Q. How does emission trading reduce China's carbon intensity? An exploration using a decomposition and difference-in-differences approach // *The Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 676. Pp. 514–523. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.303.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### Мариев Олег Святославович

Кандидат экономических наук, заведующий кафедрой эконометрики и статистики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID 0000-0002-9745-8434; e-mail: o.s.mariev@urfu.ru.

### Давидсон Наталья Борисовна

Кандидат экономических наук, доцент кафедры международной экономики и менеджмента Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID 0000-0002-6779-9561; e-mail: n.b.davidson@urfu.ru.

### Емельянова Оксана Сергеевна

Магистрант кафедры эконометрики и статистики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID 0000-0002-9731-5513; e-mail: oksanochka107@gmail.com.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-18-00262 «Моделирование сбалансированного технологического и социально-экономического развития российских регионов»).

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

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, № 3. С. 286–309. DOI: 10.15826/vestnik.2020.19.3.014.

## ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 3 августа 2020 г.; дата поступления после рецензирования 25 августа 2020 г.; дата принятия к печати 3 сентября 2020 г.

# The Impact of Urbanization on Carbon Dioxide Emissions in the Regions of Russia

O. S. Mariev  , N. B. Davidson , O. S. Emelianova 

Ural Federal University  
named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,  
Ekaterinburg, Russia  
 o.s.mariev@urfu.ru

**Abstract.** Today the world faces the environmental problems arising from economic activity, and Russia is no exception. At the same time, it is a well known fact that economic development is associated with urbanization process. Our aim is to estimate the impact of urbanization on CO<sub>2</sub> emissions. In this paper, we study 77 Russian regions based on data for the years 2001–2015, provided by the Federal Service for State Statistics and the Unified Inter-Agency Information and Statistical System. The Quantile regression model is applied, with the dependent variable of CO<sub>2</sub> emissions per capita. Urbanization is measured as a share of urban population in the regions. Gross regional product per capita is included into the model to test the Environmental Kuznets Curve hypothesis. Control variables are energy consumption per capita, expenditures on technological innovations per capita and foreign direct investment per capita. Markov Chain Monte Carlo method is used to estimate the model. Mixed evidence of the urbanization effect on CO<sub>2</sub> emission is revealed: urbanization contributes to decrease in CO<sub>2</sub> emissions in the Russian regions of 10th and 50th quantiles, while in the regions of 25th, 75th and 90th quantiles higher urbanization leads to increase in CO<sub>2</sub> emissions. The hypothesis of Environmental Kuznets Curve is also confirmed for some Russian regions, i.e. with an increase in gross regional product per capita CO<sub>2</sub> emissions increase up to a certain point, and with further growth of gross regional product per capita they decrease. As expected, an increase in energy consumption leads to an increase in CO<sub>2</sub> emissions. Foreign direct investment is found to affect negatively CO<sub>2</sub> emissions, when this variable is significant, i.e. for the 50th and 90th quantiles. We find it important that with an increase in regional expenditures on technical innovations CO<sub>2</sub> emissions decrease. The results of this research can be useful for regional policy.

**Key words:** CO<sub>2</sub> emissions; carbon dioxide; ecology; urbanization; Environmental Kuznets Curve; regions; Russia.

JEL R11

## References

1. Ali, R., Bakhsh, K., Yasin, M. (2019). Impact of urbanization on CO<sub>2</sub> emissions in emerging economy: Evidence from Pakistan. *Sustainable Cities and Society*, Vol. 48. 101553. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101553.
2. Kulyasov, I.P. (2005). Ekologicheskaja modernizatsiia: teoreticheskie aspekty [Ecological Modernization: Theoretical Aspects]. *Sotsiologija i sotsial'naja antropologija [Sociology and Social Anthropology]*, No. 3, 100–113.
3. Muhammad, S., Long, X., Salman, M., Dauda, L. (2020). Effect of urbanization and international trade on CO<sub>2</sub> emissions across 65 belt and road initiative countries. *Energy*, Vol. 196, 102–117. DOI: 10.1016/j.energy.2020.117102.
4. Bondarev, V. P. (2014). Invaironmental'nye problemy Moskovskoi aglomeratsii (Environmental problems of Moscow agglomeration). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 18. Sotsiologija i politologija (Moscow State University Bulletin. Series 18. Sociology and Political Science)*, No. 4, 138–165.

5. Xu, B., Lin, B. (2016). A quantile regression analysis of China's provincial CO<sub>2</sub> emissions: Where does the difference lie? *Energy Policy*, Vol. 98, 328–342. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.09.003.
6. 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*, Vol. 70, Issue 2, 434–444.
7. Xie, Q., Liu, J. (2019). Combined nonlinear effects of economic growth and urbanization on CO<sub>2</sub> emissions in China: Evidence from a panel data partially linear additive model. *Energy*, Vol. 186, 115868. DOI: 10.1016/j.energy.2019.115868.
8. Ali, H., Abdul-Rahim, A., Bashir Ribadu, M. (2016). Urbanization and carbon dioxide emissions in Singapore: evidence from the ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 24, 1967–1974. DOI:10.1007/s11356-016-7935-z.
9. Sharma, S. (2011). Determinants of carbon dioxide emissions: Empirical evidence from 69 countries. *Applied Energy*, Vol. 88, Issue 1, 376–382.
10. Churchill, S., Inekwe, J., Smyth, R., Zhang, X. (2019). R&D intensity and carbon emissions in the G7: 1870–2014. *Energy Economics*, Vol. 80, 30–37. DOI: 10.1016/j.eneco.2018.12.020.
11. Ike, G., Usman, O., Sarkodie, S. (2020). Testing the role of oil production in the environmental Kuznets curve of oil producing countries: New insights from Method of Moments Quantile Regression. *Science of the Total Environment*, Vol. 711, 135208. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135208.
12. Ivanova, V. (2019). VRP i zagriazhenie okruzhaiushchei sredy v regionakh Rossii: prostanstvenno-ekonometricheskii analiz (GRP and environmental pollution in Russian regions: spatial econometric analysis). *Kvantil [Quantile]*, No. 14, 53–62.
13. Pao, H.-T., Yu, H., Yang, Y. (2011). Modeling the CO<sub>2</sub> emissions, energy use, and economic growth in Russia. *Energy*, Vol. 36, Issue 8, 5094–5100. DOI: 10.1016/j.energy.2011.06.004.
14. Shkiperova, T. G. (2013). Ekologicheskaiia krivaia Kuzneta kak instrument issledovaniia regional'nogo razvitiia (Environmental Kuznets curve as tool of regional development studies). *Ekonomicheskii analiz: teoriia i praktika (Economic Analysis: Theory and Practice)*, No. 19, 8–15.
15. Zemtsov, S. P., Baburin, V. L., Kidyayeva, V. M. (2018). Innovation clusters and prospects for environmental management in Russia. *Geography and Natural Resources*, Vol. 39, Issue 1, 10–15. DOI: 10.1134/S187537281801002X.
16. Buchinsky, M. (1998). Recent advances in quantile regression models: A practical guideline for empirical research. *Journal of Human Resources*, Vol. 33, Issue 1, 88–126.
17. Koenker, R. (2005). *Quantile Regression*. Cambridge University Press, 349 p. DOI: 10.1017/CBO9780511754098.
18. Koenker, R., Bassett, J. (1978). Regression quantiles. *Econometrica*, Vol. 46, Issue 1, 33–50.
19. Powell, D. (2017). *Quantile Treatment Effects in the Presence of Covariates*. RAND Corporation, 1–28.
20. Powell, D. (2016). *Quantile Regression with Nonadditive Fixed Effects. Quantile Treatment Effects*. RAND Corporation, 33 p.
21. Baker, M. (2014). Adaptive Markov chain Monte Carlo sampling and estimation in Mata. *The Stata Journal*, Vol. 14, Issue 3, 623–661.
22. Grossman, G. M., Krueger, A. B. (1991). Environmental Impact of a North American Free Trade Agreement. *NBER Working Paper*, No. 3914. National Bureau of Economic Research, 55 p.
23. Forster, P. M., Forster, H. I., Evans, M. J., Gidden, M. J., Jones, C. D., Keller, C. A., Lamboll, R. D., Quéré, C. L., Rogelj, J., Rosen, D., Schleussner, C.-F., Richardson, T. B., Smith, C. J., Turnock, S. T. (2020). Current and future global climate impacts resulting from COVID-19. *Nature Climate Change*. DOI: 10.1038/s41558-020-0883-0.
24. Wang, N., Zhu, H., Guo, Y., Peng, Ch. (2018). The heterogeneous effect of democracy, political globalization, and urbanization on PM<sub>2.5</sub> concentrations in G20 countries: Evidence from panel quantile regression. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 194, Issue 1, 54–68. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.05.092.
25. Davidson, N. B., Mariev, O. S., Baev, D. V. (2019). Ekonometricheskaiia otsenka vliianiia priamykh zarubezhnykh investitsii na okruzhaiushchuiu srediu (The Impact Of Foreign

Direct Investment On Environment: An Econometric Analysis). *Zhurnal ekonomicheskoi teorii* [Economic Theory Journal], Vol. 16, No. 3, 575–580. DOI: 10.31063/2073–6517/2019.16–3.22.

26. Zheng, J., Zhifu, M., Coffman, D., Milcheva, S., Shan, Y., Guan, D., Wang, Sh. (2019). Regional development and carbon emissions in China. *Energy Economics*, Vol. 81, 25–36. DOI: 10.1016/j.eneco.2019.03.003.

27. Doytch, N., Uctum, M. (2012). Globalization and the environmental spillovers of sectoral FDI. *Economic Systems*, Vol. 40, Issue 4, 582–594. DOI: 10.1016/j.ecosys.2016.02.005.

28. Zhou, B., Zhang, C., Song, H., Wang, Q. (2019). How does emission trading reduce China's carbon intensity? An exploration using a decomposition and difference-in-differences approach. *The Science of the Total Environment*, Vol. 676, 514–523. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.303.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

### Mariev Oleg Svyatoslavovitch

Candidate of Economic Sciences, Head of the Department of Econometrics and Statistics, Graduate School of Economics and Management, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, Mira street, 19); ORCID 0000-0002-9745-8434; e-mail: o.s.mariev@urfu.ru.

### Davidson Natalia Borisovna

Candidate of Economic Sciences, Associate professor, Department of International Economics and Management, Graduate School of Economics and Management, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, Mira street, 19); ORCID 0000-0002-6779-9561; e-mail: n.b.davidson@urfu.ru.

### Emelyanova Oksana Sergeevna

Master student, Department of Econometrics and Statistics, Graduate School of Economics and Management, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, Mira street, 19); ORCID 0000-0002-9731-5513; e-mail: oksanochka107@gmail.com.

## ACKNOWLEDGMENTS

Research was supported by the grant of the Russian Science Foundation № 19-18-00262 «Empirical modelling of balanced technological and socioeconomic development in the Russian regions».

## FOR CITATION

Mariev O. S., Davidson N. B., Emelyanova O. S. The Impact of Urbanization on Carbon Dioxide Emissions in the Regions of Russia. *Journal of Applied Economic Research*, 2020, Vol. 19, No. 3, 286–309. DOI: 10.15826/vestnik.2020.19.3.014.

## ARTICLE INFO

Received August 3, 2020; Revised August 25, 2020; Accepted September 3, 2020.

