

Экономический рост и загрязнение окружающей среды в США и России: сравнительный пространственно-эконометрический анализ



**Алексей Николаевич
КУРБАЦКИЙ**

Московская школа экономики МГУ им. М.В. Ломоносова
Москва, Российская Федерация
e-mail: akurbatskiy@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6478-8034; ResearcherID: K-4309-2013



**Екатерина Игоревна
ШАКЛЕИНА**

Московская школа экономики МГУ им. М.В. Ломоносова
Москва, Российская Федерация
e-mail: kateshkl99@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5872-6179

Аннотация. Одной из насущных проблем двадцать первого века является загрязнение окружающей среды, неблагоприятное как в локальном, так и глобальном масштабе. Загрязняющие вещества, выбрасываемые в почву, воздух, водные стоки, загрязняют питьевую воду, что приводит к росту количества эпидемических вспышек. Более того, загрязняющие вещества влияют на местные экосистемы. А при изменении динамики экосистемы баланс организмов, которые обеспечивают нас чистым воздухом, нарушается. Основной причиной проблемы загрязнения выступает экономический рост. Он стимулирует интенсивное использование энергии, что приводит к увеличению выбросов CO₂. Необходимо понимать, как при сохранении темпа экономического роста уменьшить уровень выбросов. К текущему моменту страны – лидеры по выбросам имеют принципиально разные структуры экономик, в связи с чем представляется необходимым про-

Для цитирования: Курбацкий А.Н., Шаклеина Е.И. (2022). Экономический рост и загрязнение окружающей среды в США и России: сравнительный пространственно-эконометрический анализ // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 15. № 2. С. 92–107. DOI: 10.15838/esc.2022.2.80.6

For citation: Kurbatskiy A.N., Shakleina E.I. (2022). Economic growth and environmental pollution in the USA and Russia: Comparative spatial-econometric analysis. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 15(2), 92–107. DOI: 10.15838/esc.2022.2.80.6

вести для них сравнительный анализ влияния экономического роста на выбросы загрязняющих веществ. В работе рассмотрена ситуация, характерная для регионов России и штатов США за период с 2004 по 2018 год. Для выявления зависимостей использовались пространственные эконометрические модели. Доказано существование пространственной корреляции по уровню выбросов загрязняющих веществ в регионах России и штатах США, подтверждена гипотеза о том, что зависимость выбросов от экономического роста в регионах России имеет вид перевернутой U-образной кривой. Значение поворотной точки ВРП, после достижения которой уровень выбросов загрязняющих веществ будет уменьшаться, показало, что лишь в 10 регионах России при росте ВРП выбросы сокращаются, а большинство регионов находятся на возрастающей части кривой. Для США полученные оценки не являются значимыми, что доказывает первостепенную важность структуры экономики страны в вопросе взаимосвязи загрязнения окружающей среды и экономического роста.

Ключевые слова: выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, экономический рост, экологическая кривая Кузнецца, пространственная эконометрика, индекс Морана.

Благодарность

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 20-68-47030 «Эконометрические и вероятностные методы для анализа финансовых рынков сложной структуры».

Введение

Экономический рост является одной из важнейших характеристик общественного производства в любой хозяйственной системе. После промышленной революции страны мира стремятся к достижению всё более высоких темпов экономического роста с помощью использования существующих, в том числе невозобновляемых, природных ресурсов (Jian et al., 2019). Это приводит к уничтожению лесов, исчезновению рек, загрязнению морей, снижению качества питьевой воды, масштабным изменениям в землепользовании, увеличению выбросов парниковых газов, особенно углекислого газа (CO₂), который играет важную роль в глобальном потеплении и разрушении озонового слоя¹. Стоит отметить, что насыщенность углекислым газом в атмосфере Земли за последние 150 лет выросла с 280 до 400 ppm (частиц на миллион), столь высокого уровня не наблюдалось за последние 400 тыс. лет². В течение XX века средняя глобальная температура поверхности увеличилась на 0,6 °C, уровень моря поднялся на 10–20 см, снежный покров и протяжённость льда уменьшились на 10% (Canas et al., 2003). Таким образом, в настоящее время

перед человечеством стоят две важнейшие задачи — устойчивое экономическое развитие и сохранение окружающей среды.

Экономический прогресс, осуществляемый через поступательное экономическое развитие, является одним из факторов развития страны и представляет собой экономический рост, характеризующийся следующими показателями: рост валового внутреннего продукта и душевого дохода, рост промышленного производства и производительности труда, изменение социальной структуры общества и всей экономики в целом, наличие рынков сбыта и ряд других (Журавлева и др., 2017). При этом на экономический рост оказывают влияние выбросы оксида углерода в атмосферу. Соответственно, для достижения устойчивого развития мы должны учитывать взаимосвязь между экономической деятельностью и качеством окружающей среды (Shikwambana et al., 2021).

Наиболее широко используемым методом анализа взаимосвязи между экономическим ростом и загрязнением окружающей среды является экологическая кривая Кузнецца — перевернутая U-образная зависимость выбросов от экономического роста, рассмотренная в работе (Grossman, Krueger, 1991).

Экологическая кривая Кузнецца (ЭКК) была представлена в докладе World Development Report (1992) как зависимость между концен-

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). AR5 synthesis report: Climate change 2014.

² Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). AR5 synthesis report: Climate change 2015.

трацией диоксида серы в окружающей среде и ВВП на душу населения в 47 городах, расположенных в 31 стране³. ЭКК соответствует перевёрнутой U-образной форме связи между доходом населения и концентрацией диоксида серы.

Теория экологической кривой Кузнецца основывается на эффекте перехода от сельскохозяйственного производства к промышленному. По мере того как промышленное производство в городских районах становится всё более интенсивным, загрязнение среды увеличивается. С повышением уровня доходов тяжёлая промышленность постепенно сворачивается в пользу более высокотехнологичного производства. Данный переход должен сократить загрязнение окружающей среды. Благодаря высокотехнологичному и эффективному производству снижаются выбросы и увеличивается спрос на чистую окружающую среду со стороны потребителей, а также возникает высокий политический интерес в отношении благополучия окружающей среды (Dinda, 2004).

В нашей работе будет проведён сравнительный анализ проблемы взаимосвязи выбросов и экономического роста на примере Соединённых Штатов Америки и России. Согласно данным Всемирного банка, США и Россия занимают лидирующие места по выбросам загрязняющих веществ в пересчёте на душу населения, опережая Китай, Евросоюз и Индию⁴. США является одной из самых развитых экономик мира, Россия представляет собой страну с формирующимся рынком, следовательно, экономическая модель формирования ВВП в них отличается. Однако при этом по уровню выбросов загрязняющих веществ на душу населения страны расположены на соседних позициях. Таким образом, в силу актуальности проблемы экологического загрязнения для России и США сформулирована цель исследования – провести сравнительный анализ взаимосвязи выбросов и экономического роста на региональных данных России и США.

Для достижения поставленной цели были решены следующие исследовательские задачи: проведён сравнительный анализ экологических

проблем в России и США, оценена пространственная корреляция по уровню выбросов загрязняющих веществ на региональных данных для США и России, проверены гипотезы о существовании экологической кривой Кузнецца в двух странах на региональном уровне, выявлены факторы снижения экологической нагрузки, отмечены направления развития экологической политики в США и России.

Далее необходимо отметить работы, которые послужили отправной точкой для нашего исследования.

Обзор литературы

Теме взаимосвязи уровня загрязнения и экономического роста посвящено достаточно много книг и статей. Например, гипотеза о данной взаимосвязи проверялась по 217 странам за период с 1990 по 2014 год (Кудрявцева и др., 2017). Проблема выбросов углекислого газа является одной из актуальных, что также отражено в Киотском протоколе (1997). Именно поэтому уровень выбросов диоксида углерода (CO₂) был взят в качестве меры загрязнения окружающей среды. Исследователи подтвердили гипотезу о существовании перевёрнутой U-образной зависимости экономического роста от выбросов. Таким образом, существует критическая точка перелома между положительным и отрицательным характером зависимости экономического роста от уровня выбросов CO₂. При этом гипотеза принимается для развивающихся стран, для развитых стран зависимость линейная отрицательная. Для проверки гипотез использовалась следующая спецификация уравнения:

$$\ln y_{it} = \alpha + \rho \times \ln y_{i,t-1} + x'_{it} \times \beta + y_1 \times CO_{2it} + y_2 \times CO_{2it}^2 + h_i + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

где y_{it} – ВВП на душу населения, x_{it} – матрица регрессоров, CO_{2it} – выбросы диоксида углерода, h_i – индивидуальные страновые эффекты.

Стоит также отметить, что в качестве метода для эконометрического анализа был выбран обобщённый метод моментов, предложенный (Arellano, Bond, 1991) и используемый для оценки динамических моделей панельных данных. Заметим, что метод позволяет получить достоверные и состоятельные оценки коэффициентов. Основываясь на полученных резуль-

³ World Bank. World development report 1992: Development and the environment.

⁴ URL: <https://data.worldbank.org/>

татах, авторы статьи (Кудрявцева и др., 2017) установили наличие взаимосвязи между уровнем загрязнений и экономическим ростом.

Существуют работы, в которых исследуется гипотеза о существовании экологической кривой Кузнеця и её поворотной точки на данных по России. Так, например, гипотеза была проверена за период с 1998 по 2013 год в работе (Yang et al., 2017). В качестве загрязнителя выступали объемы выбросов парниковых газов. В данной работе рассматривались выбросы от потребления энергии, промышленного производства, сельскохозяйственного производства и неорганические выбросы, также оценены удельные выбросы от чёрной металлургии, производства первичного алюминия и производства цемента. Проверено наличие перевёрнутой U-образной зависимости между ВВП на душу населения и связанными с экономикой выбросами парниковых газов на душу населения. Модель ЭКК, используемая в данном исследовании, выглядит как:

$$Y = \alpha + \beta X + \gamma X^2 + \varepsilon, \quad (2)$$

где Y – показатель изменения окружающей среды, X – показатель экономического развития (ВВП на душу населения в USD в 2005 г.), α, β, γ – коэффициенты X .

Отмечается, что с 1998 по 2008 год общий объем выбросов парниковых газов постепенно увеличивался с 2230 до 2605 млн т CO_2 , ежегодно – на 1,6%. Полученные результаты подтвердили гипотезу экологической кривой Кузнеця. Авторы, основываясь на расчётах, предполагают, что Россия достигнет переломного момента через 10 лет при стабильности темпов экономического развития.

Проблема взаимосвязи выбросов углекислого газа и потребления энергии, реального дохода, международной торговли, уровня образования населения и урбанизации была рассмотрена на российских данных с 1991 по 2016 год. Построена эмпирическая зависимость объема выбросов CO_2 от других факторов (Ketenci, 2018). В работе была подтверждена гипотеза экологической кривой Кузнеця, согласно которой загрязнение окружающей среды снижается после достижения определенного уровня доходов.

Для оценки краткосрочных и долгосрочных взаимосвязей была использована авторегрессионная модель с распределенным лагом. Стоит отметить, что данная модель позволяет анализировать влияние шоков независимых переменных на зависимую при помощи динамических коэффициентов (аналогия с функциями импульсивного отклика в VAR моделях). Основываясь на полученных результатах, авторы исследования сделали вывод о том, что реальные доходы, потребление энергии, уровень образования населения и урбанизации влияют на уровень выбросов углерода, а открытость торговли является незначимым фактором.

Также проблема влияния экономики на окружающую среду была рассмотрена в работе (Дружинин и др., 2018). Авторы проанализировали взаимосвязь выбросов и экономического развития на примере России и Финляндии за период 1990–2017 гг. При этом для учета был взят показатель SO_2 . В работе использовалась мультипликативная функция, связывающая экономические и экологические показатели:

$$E(t) = A(t) \times X_1^\mu(t) \times X_2^{-\eta}(t) \times X_3^v(t), \quad (3)$$

где $E(t)$ – исследуемый экологический показатель (влияние на окружающую среду – отношение выбросов SO_2 к ВВП); $X_j(t)$ – факторы, $A(t)$ – нейтральный экологический прогресс (он показывает снижение уровня загрязнений за счет не включенных в уравнение факторов, прежде всего структурных сдвигов); μ, η, v – постоянные параметры (факторные эластичности); t – год.

Стоит отметить, что в качестве независимых переменных в отношении РФ применялись показатели динамики инвестиций в основной капитал, новое строительство, модернизацию, на охрану атмосферного воздуха, в машины и оборудование и доли промышленности в ВВП. В результате выявлено, что рост доли промышленности в ВВП на 1% приводит к повышению соотношения выбросов SO_2 и ВВП на 0,15%, рост кумулятивных инвестиций в охрану атмосферного воздуха на 1% приводит к снижению соотношения выбросов SO_2 и ВВП на 0,15%, рост инвестиций в машины и оборудование на 1% оказывает влияние на уменьшение соотношения выбросов SO_2 и ВВП на 0,32%.

В качестве независимых переменных в модели для Финляндии взяты показатели динамики промышленного производства, инвестиций в экономику, на охрану атмосферного воздуха, в машины и оборудование и доли промышленности в ВВП в докризисный (1996–2008 гг.) и послекризисный (2009–2015 гг.) периоды. Получено, что рост доли промышленности в ВВП на 1% приводит к увеличению соотношения выбросов SO_2 и ВВП на 2,35%, рост кумулятивных инвестиций в охрану атмосферного воздуха на 1% приводит к снижению соотношения выбросов SO_2 и ВВП на 0,39%, в первом периоде рост инвестиций в экономику на 1% привёл к уменьшению соотношения выбросов SO_2 и ВВП на 1,08%, во втором периоде рост инвестиций в машины и оборудование на 1% способствовал уменьшению соотношения выбросов SO_2 и ВВП на 1,07%.

Влияние экологии на экономический рост в последнее время привлекает внимание исследователей. Загрязнение окружающей среды негативно сказывается на производительности труда. Соответственно, в некоторых работах рассматриваются следующие проблемы: последствия экономического развития для окружающей среды и влияние изменений климата на развитие определенных отраслей экономики. Например, в одной из статей изучена проблема взаимосвязи выбросов вредных веществ от стационарных источников и экономического роста на примере России и ее регионов за период 2000–2011 гг. (Дружинин, Шкиперова, 2014). Сделан вывод о том, что рост экономики приводит к увеличению выбросов парниковых газов, в то время как модернизация и структурные сдвиги в экономике уменьшают их на 4,9% ежегодно.

Для регионов расчеты проводились по линейной и мультипликативной функциям. Результаты показали, что гипотеза ЭКК по выбросам парниковых газов и вредных веществ, отходящих от стационарных источников, для большинства регионов России не подтверждается. Авторы делают вывод, что большая часть регионов по основным показателям экологической нагрузки находится далеко от положения максимума на ЭКК и потенциальный экономический рост может сопровождаться усилением деградации окружающей среды.

Далее рассмотрим проблему взаимосвязи выбросов загрязняющих веществ, потребления энергии и развития экономики на примере стран БРИК за период 1971–2005 гг. (для России 1990–2005 гг.) (Рао, 2010). В статье было выявлено, что в долгосрочной перспективе существует взаимосвязь между выбросами, потреблением энергии и выпуском для стран БРИК. В долгосрочной перспективе эластичность потребления энергии является статистически значимой и оценивается выше для каждой из четырёх стран. Эта эластичность означает высокую чувствительность потребления энергии к изменениям в выбросах. Полученные результаты подтверждают гипотезу экологической кривой Кузнецца, согласно которой выбросы увеличиваются вместе с реальным объемом производства, стабилизируются и затем снижаются. Следовательно, после достижения критического уровня производства увеличение выпуска может привести к сокращению выбросов и росту спроса на качество окружающей среды. Авторы показали, что потребление энергии и реальный объем производства дополняют друг друга, а деградация окружающей среды оказывает лишь случайное воздействие на экономический рост. Таким образом, наилучшая экологическая политика заключается в увеличении инвестиций в энергоснабжение, повышение энергоэффективности и в активизации политики энергосбережения для сокращения ненужных потерь энергии.

Стоит также заметить, что данная проблема была исследована на примере Соединённых Штатов Америки с учётом потребления энергии. Так, в статье (Soytas, et al., 2007) изучено влияние потребления энергии и выпуска продукции на выбросы CO_2 за период с 1960 по 2004 год. Необходимо подчеркнуть, что более ранние исследования в основном были сосредоточены на проверке существования кривой Кузнецца без учёта потребления энергии. В работе (Мотренко, 2011) рассматривалась причинность по Гренджеру между доходом, потреблением энергии и выбросами CO_2 , включая рабочую силу и валовое накопление основного капитала.

Исследователи делают вывод о том, что доход не является причиной выбросов CO_2 в США в долгосрочной перспективе, в отличие от по-

ребления энергии, поэтому США не нужно снижать доходы для сокращения выбросов. Стоит подчеркнуть, что важным аспектом выступает уменьшение потребления энергии. Авторы отмечают отсутствие причинно-следственной связи между потреблением энергии и доходом и делают вывод о том, что в США сокращение потребления энергии может рассматриваться как серьёзная экологическая политика, которая не наносит ущерба долгосрочным перспективами экономического роста (Soytas et al., 2007).

Проблема взаимосвязи загрязнения окружающей среды и экономического роста на примере российских данных с учетом трёх различных видов загрязнителей (CO₂, SO₂, NO₂) была проведена в работе (Михалишев, Раскина, 2016). Рассмотрена информационная база данных 79 субъектов Российской Федерации с 2000 по 2013 год, проверена гипотеза о существовании ЭКК.

Внимание было уделено индикатору, характеризующему социально-экономическое положение, ВРП на душу населения, в качестве характеристик экологического уровня рассматривались показатели объемов диоксида азота, диоксида серы, оксидов углерода. В целях оценки влияния внешних факторов и изменчивости экономической конъюнктуры в модель интегрированы коэффициент Джини и доля вклада добавленной стоимости отрасли в совокупный ВРП. В результате эконометрическая модель имеет следующий вид:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 X_{it} + \beta_2 X_{it}^2 + \beta_3 X_{it}^3 + \beta_4 GINI_{it} + \beta_5 STRUCT_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (4)$$

где $i = 1, \dots, N$ – регионы, $t = 1, \dots, T$ – годы, $GINI$ – коэффициент Джини, $STRUCT$ – вектор переменных, отвечающих за структуру ВРП.

Полученные посредством моделирования результаты позволили сформулировать следующие выводы:

- лишь малая часть субъектов РФ находится вне области восходящей кривой Кузнецца;
- снижение выбросов сопровождается ростом неравенства (коэффициент Джини);
- зафиксирована эконометрическая незначимость непроизводительного сектора ВРП.

Резюмируя, можно отметить, что социально-экономическое положение субъектов РФ характеризуется низкой устойчивостью в долгосрочной перспективе и несущественно способствует снижению оказываемого экологического давления.

Таким образом, мы видим, что работы о взаимосвязи выбросов CO₂ и экономического роста относительно дискуссионные и противоречивые. В них не рассматривается пространственная автокорреляция факторов на региональном уровне, в том числе факторов загрязнения окружающей среды и региональных доходов.

В большинстве исследований применялись панельные данные для анализа взаимосвязи между экономическим развитием и загрязнением окружающей среды в отношении группы развитых и/или развивающихся государств. Но для корректной оценки необходим учет пространственных корреляций, особенно для крупных стран.

Имеется несколько работ, где использованы пространственно-эконометрические модели. Так, в статье (Xu et al., 2018) проблема была исследована на примере 30 провинций Китая за период 2000–2012 гг. Для проверки гипотезы ЭКК применялось следующее уравнение:

$$\ln CE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln EG_{it} + \alpha_2 \ln EG_{it}^2 + \alpha_3 \ln PSI_{it} + \alpha_4 \ln UR_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (5)$$

где CE – выбросы углерода, выраженные в тоннах, UR – уровень урбанизации, выраженный в процентах, EG – валовый внутренний продукт на душу населения, выраженный в 100 000 Yuan/km², PSI – доля вторичной промышленности, выраженная в процентах.

В статье авторы использовали для анализа взаимосвязи между экономическим ростом и выбросами CO₂ модели:

- пространственной авторегрессии (SAR) фиксированных эффектов:

$$\ln CE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln EG_{it} + \alpha_2 \ln EG_{it}^2 + \alpha_3 \ln PSI_{it} + \alpha_4 \ln UR_{it} + \rho W \ln CE_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (6)$$

где W – пространственная матрица, ρ – пространственный автокорреляционный коэффициент, который отражает величину и направление пространственной корреляции;

• модель регрессии пространственных ошибок (SER) фиксированных эффектов:

$$\ln CE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln EG_{it} + \alpha_2 \ln EG_{it}^2 + \alpha_3 \ln PSI_{it} + \alpha_4 \ln UR_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (7)$$

$$\varepsilon_{it} = \lambda W \varepsilon_{it} + \gamma_{it},$$

где λ отражает пространственную зависимость оцениваемого региона от соседних,

ε_{it} – остаток, подчиняющийся нормальному распределению.

На основе полученных результатов исследователи показали, что ЭКК имеет перевернутую U-образную форму взаимосвязи выбросов CO₂ и экономического роста в Китае. Более того, существует значительная пространственная корреляция между выбросами углерода и экономическим ростом, то есть на выбросы углерода в провинции влияют выбросы из соседних провинций. Авторы отмечают, что увеличение выбросов углерода на 1% в соседней провинции может привести к увеличению выбросов углерода на 0,028% в местной провинции. Когда экономический рост достигнет 279,91 млн юаней на единицу ВВП, то противоречие между экономическим ростом и выбросами углерода будет постепенно устранено. Заметим, что в настоящее время в Китае только несколько хорошо развитых провинций или городов провинциального уровня, таких как Тяньзинь, Пекин, Шанхай и Цзяну, достигли этой точки перегиба (Xu et al., 2018).

Анализ с учётом пространственной взаимосвязи российских регионов был проведен в статье В. Ивановой. В ней исследуется зависимость уровня экологического загрязнения окружающей среды от индикатора, характеризующего социально-экономическое положение населения в субъектах РФ, – уровня располагаемого дохода на душу населения (Иванова, 2019).

В качестве основного уравнения использована эконометрическая модель с временным трендом и индивидуальными эффектами:

$$Y = \alpha + \beta_1 \ln GRP + \beta_2 \ln GRP^2 + X' \delta + \gamma t + \varepsilon, \quad (8)$$

где Y – выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в пересчёте на душу населения (кг),

$\ln GRP$ – валовый региональный продукт на душу населения (руб.), логарифм,

α – индивидуальные эффекты регионов,

X' – векторы-строки объясняющих переменных,

δ – вектор коэффициентов,

t – временный тренд, $e \sim i.i.d. N(0, \sigma^2)$.

В целях количественной оценки тесноты взаимосвязи значений показателя x для близко расположенных регионов использовался глобальный индекс пространственной автокорреляции Морана I .

Полученные индексы Морана для логарифмов среднедушевых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, исходящих от стационарных источников, статистически значимы. Следовательно, зависимая переменная в уравнении является пространственно автокоррелированной. Подтвердилось предположение о том, что загрязнение регионов обусловлено их расположением относительно друг друга.

В работе В. Ивановой были рассмотрены две регрессионные модели:

• Пространственная авторегрессионная модель, включающая пространственный лаг зависимой переменной (далее – SAR):

$$Y = \alpha + \rho WY + \beta_1 \ln GRP + \beta_2 \ln GRP^2 + X' \delta + \gamma t + \varepsilon, \quad (9)$$

• Модель с пространственной ошибкой (далее – SEM):

$$Y = \alpha + \beta_1 \ln GRP + \beta_2 \ln GRP^2 + X' \delta + \gamma t + \varepsilon', \quad (10)$$

$$\varepsilon = \lambda W \varepsilon + \varepsilon'$$

где W – матрица пространственных весов, X – матрица контрольных переменных ρ и λ . В качестве контрольных переменных использовались:

$\ln Elc$ – потребление электроэнергии в пересчёте на душу населения (тыс. кВт/ч),

$\ln Gini$, $\ln Gini^2$ – коэффициент Джини (индекс концентрации доходов),

$Manf$ – доля обрабатывающих производств в отраслевой структуре валовой добавленной стоимости,

$Ming$ – доля добычи полезных ископаемых в отраслевой структуре добавленной стоимости.

Основанная на пространственном тесте множителей Лагранжа модель SAR оказалась предпочтительнее.

Результаты исследования подтвердили гипотезу о перевёрнутой U-образной зависимости между выбросами в окружающую среду и среднедушевым ВРП. Значение переломного уровня дохода демонстрирует, что для большинства регионов свойственен рост объемов загрязняющих веществ при увеличении доходов.

Соответственно, проблема взаимосвязи экономического роста и загрязнения окружающей среды действительно существует. Экономическое развитие, которое влияет на исчерпание природных ресурсов, не может быть устойчивым в долгосрочной перспективе. С.Н. Бобылев рассматривает новые модели экономики, связанные с учетом экологических факторов: экономика на основе «зеленого» роста (green economy), низкоуглеродная (low-carbon economy), синяя (blue economy), биоэкономика (bioeconomy) и др. (Бобылёв, 2019). Также он указывает долгосрочные задачи развития экономики России: переход к устойчивому развитию, замена экспортно-сырьевой модели на модель с четко обозначенными экологическими приоритетами, а также развитие человеческого капитала. Автор считает, что для развития экономики России необходимо принять собственную стратегию устойчивого развития, в которой важное место должна занять новая модель экономики; разработать систему целей устойчивого развития с соответствующими индикаторами на длительную перспективу с учетом международного опыта и соглашений, в которых участвует Россия.

Методика и данные

В проводимом нами исследовании использовались панельные данные. Для проверки существования пространственной зависимости в данных был проведён тест Морана. Значение индекса Морана находится по формуле:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}}, \quad (11)$$

где w_{ij} – пространственные веса, являющиеся (i, j)-ми элементами пространственной матрицы W,

x_i и x_j – значения переменных в регионах i и j,
 \bar{x} – среднее значение,
 n – количество регионов.

Пространственные веса w_{ij} являются компаративной характеристикой регионов, при большем значении весового коэффициента отмечается большая схожесть расположения территорий.

В случае положительного индекса Морана пространственная зависимость для переменных положительная, в противном случае отрицательная, при нулевом уровне – отсутствует (Жукова и др., 2016).

Идентификация весовых коэффициентов, характеризующих уровень пространственного воздействия индикаторов других регионов на значения индикатора рассматриваемого региона, является одним из главных факторов пространственного анализа данных. Весовые коэффициенты определяются посредством матрицы, основанной на смежности или на расстоянии. Расстояния между регионами устанавливаются как расстояния между центроидами или региональными центрами (Иванова, 2019). Для построения пространственной матрицы нами были использованы обратные географические расстояния.

В исследовании построена модель с пространственным лагом и пространственной структурой в ошибках (SAC – Spatial Autoregressive Combined):

$$Y = \lambda \times (W \times y)_{it} + X_{it} \times \beta + \epsilon_{it}, \quad (12)$$

$$\epsilon_{it} = \rho \times (W \times \epsilon)_{it} + u_{it}, \quad u_{it} \sim N(0, \sigma_u^2 I_n),$$

где $Y = (y_1, \dots, y_n)^T$ – вектор размерности $n \times 1$ значений эндогенной переменной для каждой единицы выборки,

λ – коэффициент пространственной авторегрессии,

n – число элементов (т. е. территориальных систем) выборки,

ρ – коэффициент авторегрессии,

ϵ_{it} – вектор ошибок ($n \times 1$), предполагающий автокорреляцию,

$W = (w_{ij})_{i=1, j=1}^{n, n}$ – пространственная взвешивающая матрица размером $n \times n$, WY – пространственный лаг зависимой переменной,

$X = (x_{ij})_{i=1, j=1}^{n, k}$ – матрица объясняющих переменных размером $n \times k$, k – число объясняющих переменных,

β – вектор размерности $k \times 1$ оцениваемых параметров, отражающих влияние объясняющих переменных на зависимую переменную,

$u_{it} = (u_1, \dots, u_n)^T$ – вектор $n \times 1$ остатков модели, относительно которых здесь и далее предполагается, что они одинаково и независимо распределены с нулевым средним и дисперсией σ^2 , т. е. $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2, I_n)$, I_n – единичная матрица размером $n \times n$.

Расчёты проводились с помощью статистического пакета R.

Данные для исследования взяты с сайтов Агентства по охране окружающей среды Соединенных Штатов Америки⁵, бюро экономического анализа США⁶ и Федеральной службы государственной статистики России⁷.

Результаты исследования и их анализ

Перед построением моделей были проанализированы регионы России и США с наибольшим и наименьшим уровнем загрязнения.

В 2018 году выбросы CO_2 в штате Вайоминг составили 110 тонн на душу населения, что является самым высоким показателем в США. Согласно Управлению по энергетической информации (EIA), штат выступает крупным производителем угля, природного газа и сырой нефти. Также одним из наиболее загрязнённых штатов является Северная Дакота. В 2018 году выбросы в нем составили 77 тонн на душу населения. Он входит в десятку крупнейших угледобывающих штатов США и обеспечивает почти 4% добычи угля в стране⁸.

В России наибольший уровень выбросов загрязняющих веществ был равен 1,6 тонны на душу населения (Ямало-Ненецкий автономный округ). Согласно докладу «Об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2017 году», главными источниками загрязнения стали нефтедобывающие и газодобывающие предприятия⁹.

Таким образом, как в штатах США, так и в регионах России основной причиной высокого уровня выбросов является добывающая промышленность.

⁵ United States Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/>

⁶ The Bureau of Economic Analysis (BEA). URL: <https://www.bea.gov/>

⁷ URL: <https://rosstat.gov.ru/>

⁸ Управление по энергетической информации. URL: <https://www.eia.gov>

⁹ Об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2017 году: государственный доклад. Салехард, 2018.

Что касается регионов с наименьшим уровнем выбросов CO_2 на душу населения, то в 2018 году в США таковыми были штаты Мэриленд и Нью-Йорк с показателями 7,7 и 7,8 тонны соответственно. Согласно Управлению по энергетической информации (EIA), в Нью-Йорке с населением почти 20 миллионов человек один из самых низких показателей выбросов CO_2 на душу населения – около 8 тонн на душу населения. Нельзя не заметить, что экономика Нью-Йорка ориентирована на деятельность с низким энергопотреблением (например, финансовые рынки)¹⁰.

В России наименьшее значение наблюдалось в 2018 году в Республике Ингушетии – 0,002 тонны на душу населения. Было замечено, что большинство регионов с низким уровнем выбросов загрязняющих веществ располагаются на юге России (Северо-Кавказский федеральный округ) и являются наименее экономически развитыми. Также низкие показатели зафиксированы в Москве и Санкт-Петербурге. Это и неудивительно, так как в данных городах наблюдается самая высокая плотность населения: Москва – 4 925,9 чел. на 1 кв. км, Санкт-Петербург – 3 741,5 чел. на 1 кв. км.

Следующим шагом для анализа пространственной зависимости между регионами по уровню выбросов загрязняющих веществ стало нахождение индекса пространственной автокорреляции Морана (*табл. 1*).

Видно, что в России и США существует пространственная корреляция по зависимой переменной, то есть выбросы загрязняющих веществ являются значимыми (при уровне значимости 0,1). Соответственно, уровень выбросов в одном регионе тесно связан с уровнем выбросов в другом, поэтому далее построены пространственные модели для экологической кривой Кузнеця:

1) для штатов США:

$$Y = \lambda \times W \times y + \beta_1 \times \ln GDP + \beta_2 \times \ln GDP^2 + \beta_3 \times (Min) + \beta_4 \times (Man) + \beta_5 \times \ln In + \beta_6 \times \ln EI + u \quad , \quad (13)$$

$$u = pWu + \varepsilon,$$

¹⁰ Управление по энергетической информации. URL: <https://www.eia.gov>

Таблица 1. Индекс Морана и р-значение по зависимой переменной «выбросы загрязняющих веществ» в США и России (по годам)

Год	Матрица обратных расстояний США		Матрица обратных расстояний России	
	Индекс Морана	P-value	Индекс Морана	P-value
2004	-0.017	0.740	-0.011	0.802
2005	-0.016	0.66	-0.01	0.748
2006	-0.017	0.703	-0.011	0.771
2007	-0.016	0.675	-0.011	0.783
2008	-0.015	0.612	-0.009	0.649
2009	-0.013	0.455	-0.009	0.646
2010	-0.013	0.489	-0.007	0.505
2011	-0.013	0.49	-0.007	0.506
2012	-0.014	0.516	-0.008	0.587
2013	-0.012	0.439	-0.007	0.488
2014	-0.012	0.432	-0.007	0.463
2015	-0.014	0.518	-0.007	0.485
2016	-0.014	0.561	-0.007	0.492
2017	-0.014	0.561	-0.009	0.605
2018	-0.015	0.595	-0.010	0.731

Источник: составлено автором на основе данных Управления по энергетической информации (<https://www.eia.gov>), Бюро экономического анализа США (<https://www.bea.gov>), Федеральной службы государственной статистики России (<https://rosstat.gov.ru/>).

где Y – зависимая переменная (выбросы углекислого газа на душу населения, связанные с энергетикой (метрические тонны), W – матрица пространственных весов, λ и p – пространственные параметры. В качестве объясняющих переменных были использованы следующие:

$\ln GDP$ – реальный ВВП по штатам на душу населения (в ценах 2012 года, млн долл.);

(Min) – доля добычи полезных ископаемых в отраслевой структуре ВВП по штатам;

(Man) – доля обрабатывающих производств в структуре ВВП по штатам;

$\ln(In)$ – располагаемый доход на душу населения (долл.);

$\ln(EI)$ – потребление энергии в пересчёте на душу населения (млн БТЕ);

2) для регионов России:

$$Y = \lambda \times W \times y +$$

$$+ \beta_1 \times \ln GRP + \beta_2 \times \ln GRP^2 + \beta_3 \times (Min) + + \beta_4 \times (Man) + \beta_5 \times \ln In + \beta_6 \times \ln EI + u \quad (14)$$

$$u = pWu + \varepsilon,$$

где Y – зависимая переменная (выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников на душу населения (t)), W – матрица пространственных весов, λ и p – пространственные параметры. В качестве объясняющих переменных были использованы следующие:

$\ln GRP$ – валовой региональный продукт на душу населения (в ценах 2012 года, млн руб.);

(Min) – доля добычи полезных ископаемых в отраслевой структуре валового регионального продукта;

(Man) – доля обрабатывающих производств в структуре валового регионального продукта;

$\ln In$ – среднедушевые денежные доходы населения (тыс. руб.);

$\ln EI$ – потребление электроэнергии в пересчёте на душу населения (тыс. кВтч).

Стоит отметить, что зависимые переменные в США и России отличаются. Для данных США был взят показатель выбросов CO_2 , связанных с энергетикой. Они возникают в результате потребления ископаемых видов топлива во всех секторах, включая жилой, коммерческий, про-

мышленный, а также в ходе потребления электроэнергии для производства. В качестве зависимой переменной для анализа региональных данных по России был взят показатель «выбросы загрязняющих атмосферу веществ от стационарных источников». В него включаются следующие загрязняющие вещества: диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, углеводороды с учетом летучих органических соединений. Различия в зависимых переменных, взятых для анализа, обусловлены тем, что методологии учета выбросов загрязняющих веществ в США и России отличаются.

Результаты полученных моделей приведены в *таблице 2*.

Коэффициенты пространственной авторегрессии значимы в обеих моделях, следовательно, существует взаимозависимость уровня загрязнений соседних регионов как в России, так и в США.

В модели, построенной на основе данных регионов России, коэффициенты при всех переменных, кроме *Min* и *Man*, статистически значимы. В США – коэффициенты при переменных *Min*, *Man*, $\ln(El)$ статистически значимы. Оценки в *таблице 2* не могут быть интерпретированы напрямую, потому что для полученных коэффициентов необходимо учитывать спецификацию пространственной регрессии. Если в моделях есть лаги зависимой переменной или независимых переменных, то на зависимую переменную в *i*-м регионе (штате) оказывают влияние не только его регрессо-

ры, но и показатели других регионов (штатов). Для корректной интерпретации коэффициентов используются прямые и косвенные эффекты. Прямой эффект – это влияние экзогенных переменных, которые относятся к *i*-му штату, на объясняемую переменную λ и *i*-ого штата. Стоит отметить, что в простейших моделях это коэффициент β перед переменной. Если в уравнениях есть лаги *X* и *Y*, то прямой эффект рассчитывается как среднее значение диагональных элементов матрицы $(I - \rho \times W)^{-1} - \beta_i$, где *I* – единичная матрица размера *N* (число штатов), а *W* – матрица весов (матрица обратных расстояний). Косвенный эффект – это воздействие независимых переменных, которые относятся к *i*-му штату, на зависимую переменную *j*-ого штата. Данный эффект рассчитывается как среднее значение недиагональных элементов матрицы $(I - \rho \times W)^{-1} - \beta_i$.

Специфика данной модели заключается в том, что правая часть уравнения включает пространственный лаг эндогенной переменной ($\lambda \times W \times y$). Коэффициенты при независимых переменных нельзя интерпретировать напрямую, для этого нужны прямые и косвенные эффекты, которые и были вычислены на следующем шаге.

Согласно данным *таблицы 3*, коэффициент при переменной «Доля добычи полезных ископаемых» в обеих странах значим. Соответственно, как в России, так и в США эта отрасль экономики оказывает влияние на выбросы загрязняющих веществ.

Таблица 2. Оценки модели SAC-FE

	Коэффициент		Стандартная ошибка	
	США	Россия	США	Россия
Пространственный коэффициент	0.18	-0.56	-	
Пространственный авторегрессионный коэффициент	-0.66**	1.18**	(0.09)	(-0.35)
Регрессоры				
<i>Доля добычи полезных ископаемых</i>	0.00**	0.00	(0.00)	(0.00)
<i>Доля обрабатывающих производств</i>	0.01***	0.00	(0.00)	(0.00)
$\ln(\text{Валовой региональный продукт})$	-0.69	-1.43***	(-2.71)	(-0.35)
$(\ln(\text{Валовой региональный продукт}))^2$	-0.02	0.05***	(-0.12)	(-0.01)
$\ln(\text{Среднедушевые доходы})$	0.11	0.21**	(-0.07)	(-0.06)
$\ln(\text{Потребление электроэнергии})$	0.85***	-0.46**	(-0.04)	(-0.14)
Примечание: *** – $p < 0.001$; ** – $p < 0.01$; * – $p < 0.05$; . – $p < 0.1$. Источник: составлено автором на основе данных Управления по энергетической информации (https://www.eia.gov), Бюро экономического анализа США (https://www.bea.gov), Федеральной службы государственной статистики России (https://rosstat.gov.ru/).				

Таблица 3. Величины прямых и косвенных эффектов

	Прямой эффект		Косвенный эффект	
	США	Россия	США	Россия
<i>Доля добычи полезных ископаемых</i>	0.005*	0.03***	0.01	0.00
<i>Доля обрабатывающих производств</i>	0.01***	0.01*	0.01.	0.00
<i>ln(Валовой региональный продукт)</i>	-0.71	2.85***	-1.31	-0.35
<i>(ln(Валовой региональный продукт))²</i>	0.02	-0.11***	0.04	0.01
<i>ln(Среднедушевые доходы)</i>	0.11	-0.54***	0.2	0.07
<i>ln(Потребление электроэнергии)</i>	0.88***	1.28***	1.62.	-0.16

Примечание: *** – $p < 0.001$; ** – $p < 0.01$; * – $p < 0.05$; . – $p < 0.1$.
 Источник: составлено автором на основе данных Управления по энергетической информации (<https://www.eia.gov>), Бюро экономического анализа США (<https://www.bea.gov>), Федеральной службы государственной статистики России (<https://rosstat.gov.ru/>).

Действительно, добывающая отрасль вносит большой вклад в количество выбросов загрязняющих веществ (Addison, 2018). При сжигании нефти и газа в атмосферу выделяется большое количество CH_4 (метан), C_2H_6 (этан), а также CO_2 (углекислый газ).

Также в обеих странах значим коэффициент при переменной «Доля обрабатывающих производств». Соответственно, обрабатывающее производство оказывает значимое влияние на выбросы как в США, так и в России.

Более того, данная отрасль влияет на выбросы не только в конкретном штате, но и в соседних. Так, резкое увеличение стоимости природного газа в одном штате может привести к внедрению новых энергоэффективных технологий, что, в свою очередь, окажет влияние на уменьшение выбросов и повышение уровня жизни населения. В долгосрочной перспективе это способно повлиять на производства, расположенные в соседних штатах. Они могут последовать примеру и также внедрить более энергоэффективные технологии с целью сокращения потребления энергии и уменьшения уровня выбросов. Соответственно, изменения в обрабатывающей промышленности в данном штате повлияют на изменения выбросов и в других.

Что касается переменной ВРП региона (или ВВП штата), то в США эта переменная не является значимой. Можно предположить, что отсутствие воздействия данного показателя на выбросы связано с тем, что основные отрасли, оказывающие влияние на выбросы углекислого газа (добывающая и обрабатывающая промышленность), не вносят значимый вклад в

ВВП штата. Таким образом, гипотеза о существовании экологической кривой Кузнецца на данных штатов США не подтвердилась. То есть уровень выбросов углекислого газа не зависит от экономического роста штата. Следовательно, изменение структуры экономики посредством сокращения доли обрабатывающей и добывающей промышленности не оказывает значимого влияния на темпы развития экономики, но при этом влечёт сокращение выбросов в США.

Однако для России переменная ВРП оказалась значимой. Результаты оценивания модели подтвердили наличие ЭКК, то есть существует перевернутая U-образная зависимость выбросов загрязняющих веществ от ВРП в регионах России. Переменная $(\ln GDP)^2$ значима, следовательно, изменение данного показателя оказывает влияние на изменение выбросов углекислого газа. Далее была найдена поворотная точка ВРП, после достижения которой уровень выбросов загрязняющих веществ будет уменьшаться. Для расчёта поворотной точки были взяты найденные значения прямых эффектов $(\ln GRP)$ и $(\ln GRP)^2$. Результат был равен 581 602 (в ценах 2012 года, руб.).

Соответственно, в 10 регионах из 75 среднегодовой ВРП на душу населения за период 2004–2018 г. превышает данное значение. Большие значения показателя характерны для города Москвы и регионов с сырьевой экспортно-ориентированной экономикой. Большинство из них характеризуются высокой долей добычи полезных ископаемых в структуре ВРП. Так, например, в Магаданской области в 2018 году доля добывающей отрасли в структуре ВРП составила 37%.

Таким образом, значение поворотной точки ВРП, полученное за данный период времени, нельзя считать легко достижимым для многих регионов России.

Соответственно, продолжающаяся зависимость России от энергоёмких видов производства не только представляет собой проблему для российской экономики в будущем, но и, как ожидается, усугубит последствия, с которыми она сталкивается в результате изменения климата. Следовательно, необходимо предпринимать меры для сокращения выбросов парниковых газов и сохранения окружающей среды. Попробуем выделить основные меры.

В первую очередь, необходимо пересмотреть цель по сокращению выбросов к 2030 году. Так, можно попытаться учесть опыт стран ЕС, которые обязались к 2030 году сократить выбросы в атмосферу на 55%. Также во многих странах существует политика торговли квотами, то есть устанавливается лимит на выбросы углекислого газа. Государственное учреждение устанавливает «предел» выбросов, которые могут производиться в его юрисдикции, и компаниям предоставляются квоты на выбросы углерода. Эти квоты могут быть использованы или проданы другим компаниям. Можно поставить вопрос об установке более жестких требований по выбросам парниковых газов. Так, например, можно принять решение об углеродном налоге, то есть ввести плату за сжигание топлива на основе углерода. Стоит отметить, что данный налог учтен в политике многих развитых стран с целью сокращения использования ископаемого топлива, сжигание которого наносит вред окружающей среде. Правительство РФ в конце 2021 года приступило к обсуждению этого вопроса.

Во-вторых, стоит постепенно уменьшать выбросы угольной электроэнергии. Вместо этого необходимо развивать иные источники энергии, например солнечные, ветряные, приливные, геотермальные. Для развития альтернативных источников необходимо инвестирование со стороны государства.

В-третьих, следует принимать меры в области сельского и лесного хозяйства, то есть увеличивать объем поглощения CO_2 за счёт новых лесопосадок и снижать выбросы N_2O путем уменьшения используемых объемов удобрений.

В-четвёртых, для сокращения выбросов нужно увеличить количество установок по улавливанию свалочного газа. Свалочный газ является возобновляемым источником энергии. Чтобы газ не рассеивался в атмосфере, его можно улавливать, перерабатывать и использовать.

Заключение

Глобальное потепление является одной из самых серьезных проблем в мире на сегодняшний день. Считается, что причиной экологических проблем выступает экономический рост: увеличение объемов производства влечёт рост уровня выбросов.

В статье оценивается влияние добычи полезных ископаемых, обрабатывающего производства, денежного дохода на душу населения, потребления электроэнергии на загрязнение воздуха (выбросы загрязняющих веществ) в двух странах. Несомненно, что на загрязнение воздуха даже на региональном уровне влияет и политика государств, в том числе стран-соседей. Очевидная сложность заключается в том, что странам трудно согласовать общие подходы к разрешению проблемы загрязнения окружающей среды, в частности воздуха. Ситуация усугубляется сложной международной обстановкой, когда многие соглашения пересматриваются, а страны выходят из договоров. Примером служит Парижское соглашение. Нельзя не отметить тот позитивный факт, что текущие позиции президентов РФ и США в этом вопросе в целом не противоречат друг другу.

В результате проведенного анализа было выявлено, что экономический рост может не оказывать влияния на уровень загрязнения (например, в США). В качестве мер политики в США можно рассматривать сокращение обрабатывающей и добывающей промышленности, т. к. оно не скажется на темпах развития экономики США. Также стоит отметить, что использование энергоэффективных технологий и возобновляемых источников энергии приведёт к уменьшению уровня выбросов загрязняющих веществ.

В регионах России была получена U-образная зависимость выбросов загрязняющих веществ от ВРП региона за период с 2004 по 2018 год. Но расчётное значение поворотной точки ВРП, по достижению которой выбросы загряз-

няющих веществ должны начать сокращаться, для субъектов России оказалось достаточно высоким, и лишь в 10 из них уровень выбросов при достижении данного значения уменьшается. Таким образом, подтверждение гипотезы о существовании экологической кривой Кузнеця на российских данных является условным. Регионам с высоким уровнем ВРП соответствует высокий уровень выбросов, так как они имеют значимую сырьевую базу.

Следовательно, экономический рост регионов России не может быть определён как стабильный в долгосрочной перспективе и способствующий уменьшению оказываемого на окружающую среду давления. Основной причиной является сырьевая зависимость российской экономики. Меры по декарбонизации достаточно очевидны: использование высокоэффективных, «чистых» технологий в добывающем секторе экономики, энергосберегающих техно-

логий в обрабатывающем секторе, а также осуществление диверсификации экономики. Тем не менее, их интенсивная реализация остаётся крайне трудной задачей.

В заключение хотелось бы отметить, что результаты работы могут помочь при моделировании регионального экономического роста с учетом тенденций в экологической политике. Чем точнее будут оценки коэффициентов факторов, рассмотренных в модели, тем конкретнее можно сформулировать предположения о необходимых мерах региональной политики и их влиянии на экономический рост, а также спрогнозировать уровни загрязнения. Подход к этому вопросу в США полезен и для России, несмотря на принципиальные различия экономик двух стран. Полученные выводы могут оказаться полезными для согласованной экологической политики на федеральном и региональном уровнях.

Литература

- Бобылёв С.Н. (2019). Новые модели экономики и индикаторы устойчивого развития // Экономическое возрождение России. № 3. С. 23–29.
- Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т. (2014). Оценка взаимовлияния экономических и экологических процессов // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. № 2 (32). С. 213–224.
- Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т., Поташева О.В. (2018). Экологическая кривая Кузнеця: случай России и Финляндии // Экономика: вчера, сегодня, завтра. Т. 8. № 11а. С. 83–97.
- Жукова А.К., Силаев А.М., Силаева М.В. (2016). Анализ ожидаемой продолжительности жизни с учетом пространственной зависимости по регионам России // Пространственная экономика. № 4. С. 112–128.
- Журавлева Т.А., Семенова Е.М., Павлов К.В. (2017). Экономический рост и проблемы экологии в России // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. № 2 (1). С. 188–195.
- Иванова В. (2019). ВРП и загрязнение окружающей среды в регионах России: пространственно-эконометрический анализ // Квантиль. № 14. С. 53–62.
- Кудрявцева О.В., Иванов Е.В., Колесник Д.П. [и др.] (2017). Оценка влияния уровня загрязнения окружающей среды на экономический рост // Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал. Т. 9. № 3. С. 68–80.
- Мотренко А. П. (2011). Использование теста Гренджера при прогнозировании временных рядов // Машинное обучение и анализ данных. Т. 1. № 1. С. 51–60.
- Михалищев С., Раскина Ю. (2016). Экологическая кривая Кузнеця: случай России // Финансы и бизнес. Т. 1. С. 17–39.
- Addison T. (2018). Climate change and the extractives sector. *Extractive Industries*, 460.
- Arellano M., Bond S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *The Review of Economic Studies*, 58(2), 277–297.
- Canas A., Ferrao P., Conceicao P. (2003). A new environmental Kuznets curve? Relationship between direct material input and income per capita: evidence from industrialized countries. *Ecological Economics*, 46(2), 217–229.
- Dinda S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431–455.
- Grossman G.M., Krueger A.B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. *National Bureau of Economic Research, Working Paper Series*, 3914.

- Jian J., Fan X., He P. et al. (2019). The effects of energy consumption, economic growth, and financial development on CO₂ emissions in China: A VECM Approach. *Sustainability*, 11(18), 4850.
- Ketenci N. (2018). The environmental Kuznets curve in the case of Russia. *Russian Journal of Economics*, 4, 249–265.
- Pao H.T., Tsai C.M. (2010). CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries. *Energy Policy*, 38(12), 7850–7860.
- Shikwambana L., Mhangara P., Kganyago M. (2021). Assessing the relationship between economic growth and emissions levels in South Africa between 1994 and 2019. *Sustainability*, 13(5), 2645.
- Soytas U., Sari R., Ewing B.T. (2007). Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States. *Ecological Economics*, 62(3–4), 482–489.
- Xu H., Zhang C., Li W., Zhang W., Yin H. (2018). Economic growth and carbon emission in China: a spatial econometric Kuznets curve? *Zbornik radova Ekonomskog fakulteta u Rijeci: časopis za ekonomsku teoriju i praksu*, 36(1), 11–28.
- Yang X., Lou F., Sun M. et al. (2017). Study of the relationship between greenhouse gas emissions and the economic growth of Russia based on the Environmental Kuznets Curve. *Applied Energy*, 193, 162–173.

Сведения об авторах

Алексей Николаевич Курбачкий – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой, Московская школа экономики МГУ им. М.В. Ломоносова (119234, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 61; e-mail: akurbatskiy@gmail.com)

Екатерина Игоревна Шаклеина – магистрант, Московская школа экономики МГУ им. М.В. Ломоносова (119234, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 61; e-mail: kateshkl99@gmail.com)

Kurbatskiy A.N., Shakleina E.I.

Economic Growth and Environmental Pollution in the USA and Russia: Comparative Spatial-Econometric Analysis

Abstract. One of the vital problems of the 21st century is environmental pollution, unfavorable both locally and globally. Contaminants released into the soil, air, and water runoff pollute drinking water which leads to an increase in the number of epidemic outbreaks. Moreover, pollutants affect local ecosystems. And when the ecosystem dynamics change, the balance of organisms that provide us with clean air is disrupted. The main cause of the pollution problem is economic growth. It encourages intensive energy use which leads to an increase in CO₂ emissions. It is important to understand how to reduce emissions while maintaining the pace of economic growth. To date, the emission-leading countries have fundamentally different economic structures, and therefore it seems necessary to conduct a comparative analysis of the economic growth impact on pollutant emissions for them. The paper considers the situation typical of the Russian regions and American states for the period from 2004 to 2018. We have used spatial econometric models to identify dependencies. The paper proves the existence of spatial correlation in the level of pollutant emissions in Russia's regions and American states. We have confirmed the hypothesis that the dependence of emissions on economic growth in Russia's regions has the form of an inverted U-shaped curve. The value of the GRP turning point, after reaching which the level of pollutant emissions will decrease, has shown that only in ten Russia's regions, with GRP growth, emissions are reduced, and most regions are on the increasing part of the curve. For the United States, the estimates obtained are not significant, which proves the paramount importance of the structure of the country's economy in the issue of the relationship between environmental pollution and economic growth.

Key words: pollutant emissions into the atmosphere, economic growth, Kuznets ecological curve, spatial econometrics, Moran's index.

Information about the Authors

Aleksei N. Kurbatskiy – Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Associate Professor, head of department, Moscow School of Economics, Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie Gory, building 61, Moscow, 119234, Russian Federation; e-mail: akurbatskiy@gmail.com)

Ekaterina I. Shakleina – master's degree student, Moscow School of Economics, Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie Gory, building 61, Moscow, 119234, Russian Federation; e-mail: kateshkl99@gmail.com)

Статья поступила 25.10.2021.