

Role of New Metrics

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНОВ РОССИИ ЗА ДВАДЦАТИЛЕТИЕ СЫРЬЕВОГО РОСТА

Степан ЗЕМЦОВ, Вера БАРИНОВА, Вера КИДЯЕВА, Татьяна ЛАНЬШИНА

Степан Петрович Земцов — кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, заместитель руководителя лаборатории исследований проблем предпринимательства, РАНХиГС (РФ, 119571, Москва, пр. Вернадского, 82).
E-mail: Zemtsov@ranepa.ru

Вера Александровна Баринаова — кандидат экономических наук, заместитель руководителя Центра экономического моделирования энергетики и экологии, РАНХиГС (РФ, 119571, Москва, пр. Вернадского, 82).
E-mail: barinova-va@ranepa.ru

Вера Михайловна Кидяева — кандидат географических наук, научный сотрудник Центра стратегий регионального развития Института прикладных экономических исследований, РАНХиГС (РФ, 119571, Москва, пр. Вернадского, 82); инженер, МГУ им. М. В. Ломоносова (РФ, 119234, Москва, ул. Ленинские Горы, 1).
E-mail: kidyeva-vm@ranepa.ru

Татьяна Александровна Ланьшина — кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Центра экономического моделирования энергетики и экологии, РАНХиГС (РФ, 119571, Москва, пр. Вернадского, 82).
E-mail: Lanshina@ranepa.ru

Аннотация

В последние двадцать лет, когда цены на энергоресурсы росли или оставались относительно высокими, в России реализовывалась модель экстенсивного сырьевого роста, основанная на эксплуатации природных богатств, преимущественно отдельных регионов. Было ли при этом развитие всех регионов устойчивым? В статье предложен подход к сравнительной оценке экологической эффективности региональных экономик, которая определяется как отношение выпуска несырьевых товаров и услуг к затратам ресурсов (труда, капитала, сырья) и экологическим издержкам. Одновременно это способ оценки относительной производительности с учетом принципов устойчивого развития, а соответственно, индикатор качества экономического роста. Модель устойчивого развития предполагает сочетание роста душевого ВРП и экологической эффективности. Экологическая эффективность среднего российского региона росла с 2003 года (за исключением кризисных периодов) вслед за увеличением доли сектора услуг и закрытием неэффективных «грязных» производств. По результатам эконометрических расчетов, экологическая эффективность росла быстрее в плотно заселенных регионах с высокой долей наукоемких сервисов, инвестиционной привлекательностью и интенсивным обновлением технологий (в Москве, Санкт-Петербурге, Свердловской, Томской, Белгородской, Калининградской областях и др.), а также в ряде аграрных центров. При этом снижалась экологическая эффективность в большинстве северных и сибирских регионов, специализирующихся на отраслях первичного передела. Сохраняется большой потенциал повышения экологической эффективности. Однако для большинства регионов рост сопровождался качественной трансформацией экономик, а более половины двадцатилетнего периода прошло в условиях, соответствующих модели устойчивого развития. Во многом описанные успехи обусловлены системой межбюджетных трансфертов, обеспечивающей распределение части нефтяной ренты среди регионов. Дальнейшему росту экологической эффективности может содействовать увеличение инвестиций в несырьевой сектор, повышение энергоэффективности и снижение уровня автомобилизации. Соответствующие изменения могут быть ускорены в условиях начинающегося кризиса, вызванного пандемией и падением цен на нефть.

Ключевые слова: региональное развитие, устойчивое развитие, регионы России, экологические проблемы, энергетическая эффективность, оболочечный анализ данных, кривая Кузнеця.

JEL: R11, Q57, O49, Q32.

Введение

Начиная с середины XX столетия основной целью и критерием развития стран был экономический рост, оцениваемый по статистике изменений валового внутреннего продукта (ВВП). Однако в литературе нередко отмечается, что вместе с ростом ВВП могут увеличиваться экологические издержки общества, расти неравенство, а сам индикатор не отражает качество экономического роста [Stiglitz et al., 2009].

Негативные экологические эффекты снижают благосостояние жителей¹. По мере ухудшения среды обитания и изменения климата² вопросы сокращения антропогенной нагрузки на природу становятся более актуальными. В России и многих развивающихся странах глобальные экологические инициативы воспринимаются как потенциальное ограничение экономического роста, как угроза снижению экспорта сырья [Илларионов, Пивоварова, 2004]. Но в рамках парадигмы устойчивого развития этого противоречия нет: рост экономики и уровня жизни возможен за счет более равномерного распределения и повышения эффективности использования ресурсов (труда, капитала, сырья), что, в свою очередь, будет сопровождаться снижением экологических издержек.

В России природные изменения несут существенные угрозы развитию: накопленный экологический ущерб увеличивает риски социально-политической нестабильности³, таяние многолетней мерзлоты приводит к разрушению инфраструктуры в нефте- и газодобывающих районах, увеличение числа опасных природных явлений сопровождается гибелью людей⁴. Это объективные причины расширения экологической повестки в политике, частично отраженной в национальном проекте по экологии. Кризисные явления, слабое технологическое развитие, рост неравенства, вызванные изъянами сырьевой модели роста [Идрисов и др., 2017], также повысили актуальность исследований возможностей устойчивого развития в России [Баринаова, Земцов, 2019; Бобылев и др., 2018]. Всё это требует разработки новых исследовательских подходов и политических инструментов.

¹ Например, в работе [Nordhaus, 1994] описаны связи между выбросами углекислого газа и увеличением ущерба от природных катаклизмов, ухудшением здоровья, сокращением продолжительности жизни и снижением темпов роста.

² Есть веские основания полагать, что изменения климата во многом обусловлены увеличившимися объемами выбросов парниковых газов антропогенного происхождения. См.: IPCC. Fifth Assessment Report (AR5), 2014. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>.

³ В последние годы усилилась протестная активность из-за проблем, связанных с утилизацией твердых коммунальных отходов (мусора) и строительством мусоросжигательных заводов, наносящих ущерб природной среде.

⁴ Число опасных явлений (наводнения, волны жары, ураганы, лесные пожары, пандемии) выросло за 1996–2012 годы в 2,3 раза. См.: Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. С. 16.

За последние двадцать лет в России наблюдался экстенсивный сырьевой рост экономики, основанный на расширении производства ресурсов и эксплуатации природных богатств в ключевых центрах добычи нефти и газа. Привел ли подобный экономический рост к устойчивому развитию всех регионов? Как это оценить и выявить лучшие практики? Некоторые регионы создали условия для долгосрочного развития, став более экологически эффективными. В нашей работе в соответствии с парадигмой устойчивого развития экологическая эффективность — это способность экономических агентов региона увеличивать несырьевой выпуск при минимизации используемых ресурсов (труда, капитала, сырья) и уровня загрязнения окружающей среды. Фактически это способ оценки производительности экономик региона с учетом принципов устойчивого развития и, соответственно, дополнительный индикатор для мониторинга качества экономического роста учеными и политиками. Одновременный рост душевого ВРП и экологической эффективности рассматривается в статье как реализация модели устойчивого регионального развития.

Цель нашей работы — оценить экологическую эффективность регионов России и определить факторы ее динамики в 1998–2017 годах. Проведен краткий обзор предшествующих исследований. Предложена авторская методика оценки экологической эффективности с использованием оболочечного анализа данных (DEA). Описаны лучшие практики регионов, реализовавших модель устойчивого развития, и факторы их реализации. В заключении сформулированы некоторые рекомендации.

1. Краткий обзор исследований устойчивого развития

Возможности устойчивого развития определяются сочетанием природных условий и накопленным национальным богатством, иными словами, факторами первой и второй природы [Земцов, Смелов, 2018; Зубаревич, 2014; Krugman, 1997]. Представления о роли и взаимосвязях этих двух составляющих в развитии менялись. В соответствии с концепцией географического детерминизма долгосрочное развитие стран и регионов определяется условиями окружающей среды. Так, освоение северных территорий России предоставило существенные возможности для экстенсивного роста, но привело к избыточным транспортным и энергетическим издержкам, к росту удельного потребления ресурсов [Михайлова, 2011]. Извлечение природной ренты без развития технологий ограничивает перспективы обрабатывающих отраслей, приводит к их отставанию и способствует проявлению так называемого ре-

сурсного проклятья [Гуриев, Сонин, 2008]. В итоге это ведет к неустойчивому росту экономики.

В рамках геопоссибилизма неблагоприятные природные условия и их изменения рассматриваются как вызов (возможность), который можно преодолеть путем развития новых технологий и институтов. Например, в докладах Римского клуба предсказывалось наступление глобального экологического кризиса, но по мере развития общества благодаря демографическому переходу, изменению семейных норм темпы роста населения замедлились, а новые технологии позволили расширить емкость природной среды [Meadows, 2012].

Также была предложена гипотеза о Λ-образной зависимости между экономическим ростом и загрязнением окружающей среды [Grossman, Krueger, 1991], получившая название экологической кривой Кузнеця. В соответствии с этой гипотезой при переходе от аграрного уклада к индустриальному уровень загрязнения среды повышается, но затем снижается. Рост доли сектора услуг и внедрение новых технологий позволяют сократить объемы используемых ресурсов и снизить уровень загрязнения. Одновременно, по мере роста доходов, увеличивается спрос со стороны населения на чистую окружающую среду [López, 1994]: потребители стремятся жить в более комфортных условиях и оказывают давление на правительство с целью ужесточения экологического законодательства. Постепенно формируются институты, направленные на ограничение загрязнений, в том числе неправительственные организации и волонтерские движения⁵, создаются новые законодательные нормы (Евро-6), инструменты торговли квотами на выбросы и т. д. Ужесточение экологических норм, в свою очередь, стимулирует дальнейшее развитие экоинноваций [Gibbs et al., 2005; Horbach, 2012; Porter, Van der Linde, 1995; Stern, 2014].

В рамках парадигмы устойчивого развития предполагается возможность удовлетворить текущие потребности человечества без ущерба для последующих поколений. Устойчивость включает три составляющие (принципа): во-первых, сбалансированный самоподдерживающийся экономический рост, основанный на эффективном использовании и распределении ресурсов; во-вторых, гармоничное социальное развитие, подразумевающее равный доступ к социальным благам, политическую ответственность; в-третьих, решение экологических проблем: формирование благоприятной окружающей среды, сохранение экосистем и биоразнообразия. В 2015 году страны ООН провозгласили глобальные

⁵ В наиболее развитых странах мира зародились многие экологические движения: Greenpeace, World Wildlife Fund, движение Греты Тунберг и др.

цели устойчивого развития до 2030 года⁶, учитывающие все три принципа.

Для измерения уровня и динамики устойчивого развития применяются оценки комплекса экономических, социальных и экологических характеристик [Барина, Земцов, 2019; Бобылев и др., 2014; Bell, Morse, 2012; Kubiszewski et al., 2013]. При этом возникают проблемы обоснования выбора индикаторов и соотношения весов между ними внутри интегральных индексов. Традиционно используются различные индикаторы влияния экономики на природную среду: энергоемкость, удельное потребление энергии и т. д. Однако, с нашей точки зрения, этого недостаточно: не учитываются различия между странами и регионами по их географическому положению, численности жителей, национальному богатству и т. д.

В нашей статье используется подход на основе оболочечного анализа данных, или анализа среды функционирования (от англ. data envelopment analysis, DEA), учитывающий сочетание многих переменных. В основе метода лежит линейное программирование [Charnes, 1978]. При этом регионы сравниваются между собой по соотношению результатов их деятельности с задействованными ими ресурсами (выпуск к затратам) [Yureskul, Akhremenko, 2015; Zemtsov, Kotsemir, 2019]. В производственной функции затратами являются оценки факторов труда, капитала и природных ресурсов (топлива, воды, земельных ресурсов и т. д.), а выпуском — валовой региональный продукт (ВРП). Нежелательные результаты, такие как загрязнение [Chen, 2015], на наш взгляд, следует рассматривать как затраты региона в долгосрочном отношении (экологические издержки). Экологически эффективным в этом случае считается регион, который в сравнении с другими обеспечивает выпуск при минимальном объеме используемых ресурсов и минимальном загрязнении.

Эмпирические исследования подтверждают более высокую экологическую эффективность развитых стран и регионов [Gómez-Calvet et al., 2014; Rashidi et al., 2015; Valadkhani et al., 2016; Vlontzos, 2014]. Например, в Китае [Chen, 2015; Shi et al., 2010; Wang et al., 2012; 2013] более эффективны восточные районы. В них расположены крупнейшие агломерации с высоким уровнем жизни (Шанхай, Пекин, Гуанчжоу), специальные экономические зоны с высокопроизводительными предприятиями, в том числе созданными иностранными инвесторами. В этих районах выше интенсивность использования ресурсов. Менее развитые юго-западные и северо-

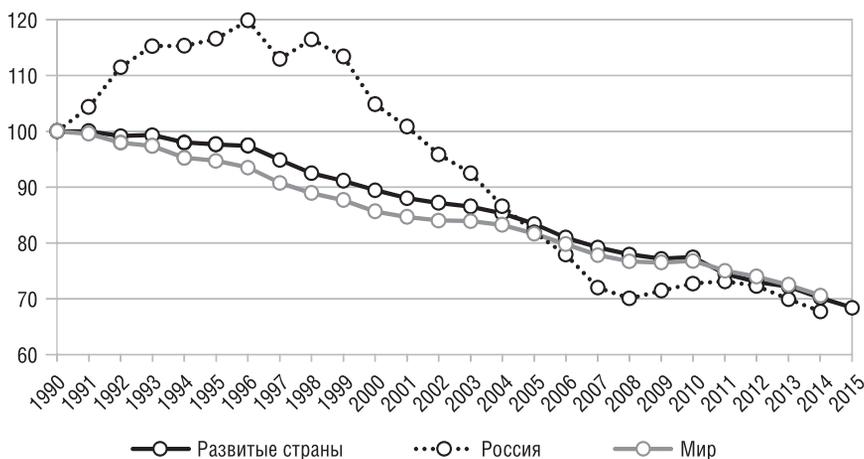
⁶ UN. About the Sustainable Development Goals. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>.

западные районы Китая более энергоемки из-за высокой доли промышленности первичного передела (черная металлургия, тяжелое машиностроение). В энергобалансе этих регионов выше доля угля, который сильнее загрязняет атмосферу.

2. Анализ первичных данных, описание методики и гипотез

Из анализа доступной мировой статистики следует, что в развитых странах (государствах — членах Организации экономического сотрудничества и развития) с середины 2000-х годов реализуется модель устойчивого развития: экономический рост сочетается со снижением антропогенной нагрузки на окружающую среду. Сокращаются общая энергоемкость экономики (рис. 1а), доля ископаемого топлива в энергобалансе (рис. 1б) и выбросы углекислого газа на душу населения (рис. 1с). Это происходит благодаря развитию сектора услуг, внедрению ресурсосберегающих технологий, использованию возобновляемых источников энергии⁷.

В мире в целом снижается энергоемкость и растет роль альтернативной энергетики, но общие и подушевые объемы выбросов CO₂ увеличиваются. Частично это связано с индустриализацией стран третьего мира, в том числе в результате выноса «грязных» производств из развитых стран в развивающиеся [Takeda, Matsuura, 2004], а также всеобщей автомобилизацией.

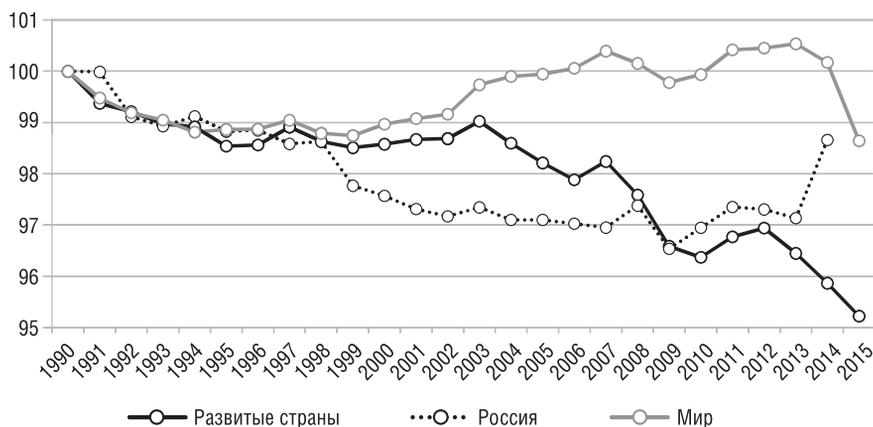


Примечание. Значение 1990 года принимается за 100%.

Источник: <https://data.worldbank.org>.

Рис. 1а. Динамика энергоемкости экономики: потребление энергии к ВВП, 1990-2015 годы (%)

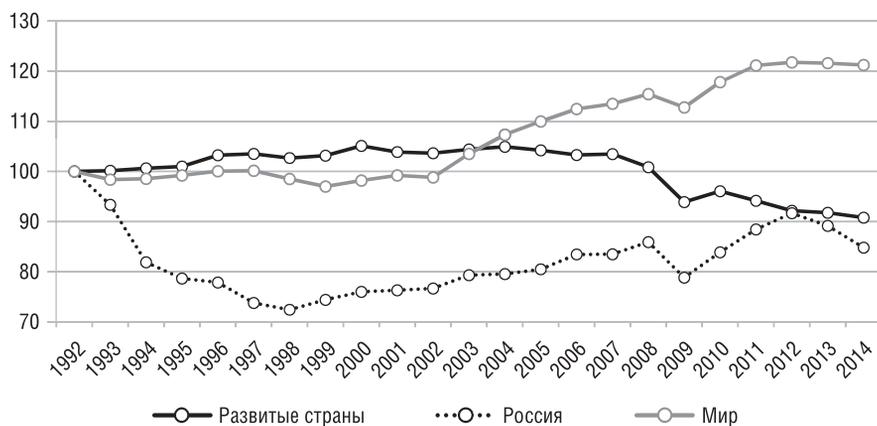
⁷ Возобновляемые источники энергии обеспечивают около 2/3 прироста энергогенерации в мире [Lanshina et al., 2018].



Примечание. Значение 1990 года принимается за 100%.

Источник: <https://data.worldbank.org>.

Рис. 1б. Динамика использования топлива: доля ископаемого топлива в энергопотреблении, 1990–2015 годы (%)



Примечание. Значение 1992 года принимается за 100%.

Источник: <https://data.worldbank.org>.

Рис. 1с. Динамика загрязнения: выбросы CO₂ к численности населения, 1992–2014 годы (%)

В России энергоемкость росла в кризисный период 1990-х, когда выпуск падал быстрее, чем энергопотребление, но снижалась в 2000-е по мере роста экономики, загрузки недоиспользуемых производственных мощностей, обновления фондов, подорожания энергоресурсов. Доля ископаемого топлива в энергопотреблении в целом снижалась до кризиса 2009 года вслед за повышением цен на сырье, но при этом доля возобновляемых источников энергии уменьшалась с середины 1990-х за счет сокращения числа малых гидроэлектростанций. Из-за падения промышленного производ-

ства выбросы углекислого газа в 1990-е годы снизились, но затем наметился рост в связи с повышением загрузки мощностей и автоматизацией [Битюкова, Попов, 2015].

Динамика описанных показателей недостаточно ясно описывает российскую ситуацию, поскольку не учитывает существенных региональных различий. Чтобы адекватно анализировать положение в регионах, мы используем несколько переменных, характеризующих затраты ресурсов:

- труд: численность рабочей силы (млн чел.);
- капитал: стоимость основных фондов в постоянных ценах (млрд руб.)⁸;
- природные ресурсы: потребление электроэнергии (млн кВт/ч); потребление воды (млн куб. м); добавленная стоимость по виду деятельности «Добыча полезных ископаемых» в постоянных ценах (млрд руб.);
- экологические издержки⁹: выбросы загрязняющих веществ в атмосферу (тыс. тонн).

Для оценки результатов устойчивой экономической деятельности в регионе мы предлагаем косвенный индикатор выпуска несырьевых товаров и услуг — валовой региональный продукт (ВРП)¹⁰ в постоянных ценах (в миллиардах рублей) за вычетом деятельности по добыче полезных ископаемых и федеральных трансфертов¹¹. Выпуск, полученный путем извлечения природной ренты, в соответствии с целями нашей статьи рассматривался как затраты.

На рис. 2 показана динамика основных индикаторов, применяемых для оценки экологической эффективности. Использованы официальные данные Росстата за 1998–2017 годы¹². Наиболее быстрыми темпами (более чем в два раза) за этот период вырос

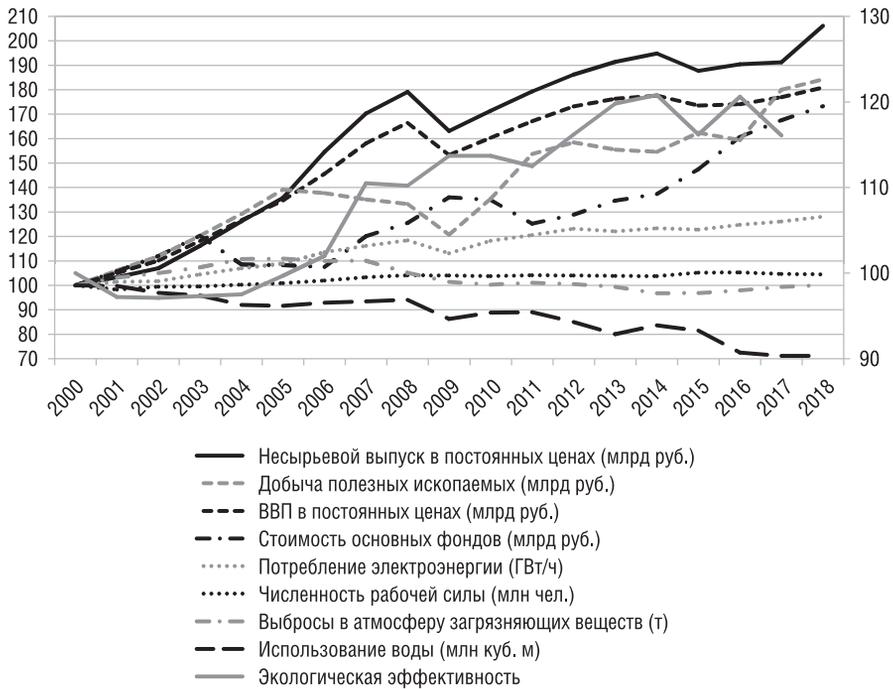
⁸ Индикатор часто используется для оценки капитала, хотя и подвергается критике, так как не учитывает изменения эффективности предприятий в зависимости от их возраста, физического и морального износа оборудования. В целом предприятия склонны занижать стоимость основных фондов.

⁹ Загрязнение часто рассматривается как результат экономической деятельности. Но с позиций устойчивого развития выбросы — это издержки или потенциальные затраты системы, так как требуют усилий будущих поколений на ликвидацию накопленного вреда.

¹⁰ Росстат пересмотрел данные за ряд последних лет по объемам ВВП и ВРП в связи с изменением методики и переходом на ОКВЭД2.

¹¹ Вычитание добычи из ВРП не приводит полностью к исключению выпуска несырьевых товаров и услуг, так как добывающий сектор влияет на многие отрасли через мультипликатор. Из ВРП также вычитались трансферты федерального бюджета, которые рассматривались как распределение нефтяной ренты.

¹² В связи с неполнотой данных за весь период рассматривались 77 регионов, не включены республики Чечня, Крым, Алтай, Ингушетия, Еврейская автономная область, Ненецкий и Чукотский автономные округа, Севастополь. По той же причине Тюменская область, Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий автономные округа рассматривались лишь частично за период 2007–2017 годов.



Примечание. Значение 2000 года принимается за 100%.

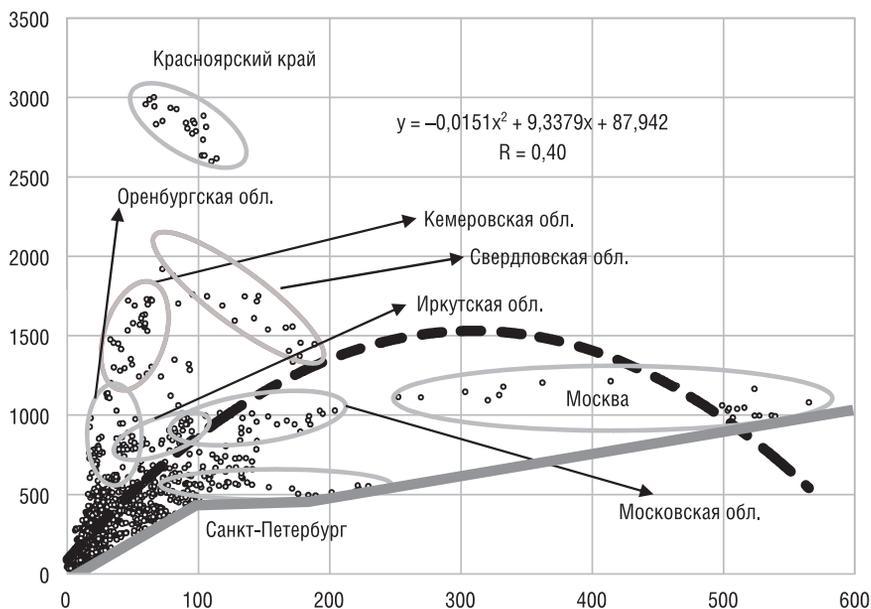
Источник: Росстат.

Рис. 2. Динамика экологической эффективности (правая ось, %) и переменных, используемых для ее оценки (левая ось, %), в России, 2000–2018 годы

несырьевой выпуск, что связано с ростом сектора услуг, особенно в крупных агломерациях страны: торговли, финансов, транспорта, информационных и коммуникационных технологий и др. В то же время объем добычи полезных ископаемых, рассматриваемый как основной источник роста российской экономики, благодаря благоприятной конъюнктуре вырос в 1,8 раза. Экономический рост в начале 2000-х годов сопровождался увеличением загрязнения атмосферы, но с 2005 года по 2015-й объем выбросов снижался из-за сокращения числа крупных производств, модернизации тепловых электростанций и их перевода на природный газ, развития ресурсосберегающих технологий на новых производствах, обновления транспортных средств. Сокращение выбросов при росте экономики принято называть декаплингом [Bobylev et al., 2015]; это явление согласуется с гипотезой об экологической кривой Кузнецца. Но в 2018 году процессы автомобилизации привели к некоторому превышению значений 2000 года. Использование воды сокращалось весь период благодаря модернизации водохозяйственной инфраструктуры, снижению потерь, установке приборов учета и закрытию ряда крупных водопотребителей, в том числе

целлюлозно-бумажных комбинатов¹³ [Битюкова, Попов, 2015]. Потребление электроэнергии росло вслед за экономическим ростом, но меньшими темпами, что связано со снижением удельной доли энергоемких производств, в частности закрытием и переоборудованием устаревших металлургических заводов, снижением потерь после модернизации электросетей [Башмаков, 2019].

Динамика переменных и выявленные взаимосвязи для регионов могут существенно различаться. Например, чем больше выпуск (ВРП) в регионе, тем выше объем выбросов (рис. 3). Но в соответствии с зависимостью, обозначенной как кривая Кузнецца (прерывистая линия на рис. 3), крупные агломерации с высокими доходами населения и высокой долей услуг в экономике (Москва, Санкт-Петербург) имеют пониженные значения выбросов. В то же время Красноярский край, Кемеровская, Оренбургская, Свердловская, Иркутская области, удаленные регионы со средним ВРП на душу населения, сохранившие энергоемкие производства, наоборот, показывают больший объем выбросов. При этом у регионов выделяются различные траектории роста и падения выбросов в зависимости от роста экономики (выделено окружностями на графике).



Источник: Росстат.

Рис. 3. ВРП в ценах 1998 года (ось абсцисс, переменная x, млрд руб.), и выбросы в атмосферу в регионах России (ось ординат, переменная y, млн т), 1998-2014 годы

¹³ Статистические формы для оценки выбросов и использования воды заполняют только крупные и средние предприятия, число которых сокращалось. Оценить, насколько статистические эффекты преобладали над фактическим снижением выбросов, не представляется возможным.

В соответствии с парадигмой устойчивого развития мы использовали вариант модели DEA, предполагающий для достижения границы производственных возможностей сохранение объемов выпуска при сокращении используемых природных ресурсов и выбросов (input-oriented model). Показатели каждого региона сравниваются с теми регионами, в которых значение указанного соотношения максимально.

Например, на рис. 3 непрерывной ломаной линией показана граница минимального объема выбросов при заданном подушевом ВРП. Все регионы получают оценку от 0 до 1 по мере приближения к указанной границе.

Эффективные регионы с оценкой 1 (Москва, Санкт-Петербург в отдельные годы, рис. 3) лежат на самой границе, следовательно, являются лучшими практиками. К наименее эффективным регионам с оценкой, близкой к нулю на рис. 3, относится Красноярский край.

Поскольку сравнение ведется для выборки, ее изменение может привести к пересмотру оценок [Yureskul, Akhremenko, 2015; Zemtsov, Kotsemir, 2019]. Расчеты производились одновременно для всего периода 1998–2017 годов, что позволило проследить динамику экологической эффективности: значения для одного региона сравнивались со значениями для остальных регионов и с его же значениями в другие годы.

Применяя модель DEA, мы неявно рассматриваем регион как субъект принятия решений. Но регион — сложная система. Согласно обзору исследований, его развитие определяется одновременно сочетанием объективных факторов (природных, социально-экономических) и решениями властей. Для оценки влияния разных групп факторов на экологическую эффективность регионов (зависимая переменная) мы предварительно сформулировали несколько гипотез, выбрали независимые переменные для эконометрической модели (табл. 1).

Гипотезы, объясняемые различиями в природных условиях:

- северные регионы менее экологически эффективны из-за высоких энергетических, транспортных и иных издержек (затрат);
- в регионах с высокой долей отраслей первичного передела ниже экологическая эффективность из-за наличия «грязных» производств.

Гипотезы, обоснованные различиями в социально-экономических условиях:

- экологическая эффективность в соответствии с экологической кривой Кузнецца выше в наиболее развитых регионах

Т а б л и ц а 1

**Гипотезы и переменные, описывающие различия
в уровне и динамике экологической эффективности**

Гипотеза/фактор	Независимая переменная	Ожидаемое направление влияния на экологическую эффективность регионов
Энергетические, транспортные и иные издержки северной экономики	Косвенный обратный индикатор: отношение объема продукции растениеводства к ВРП (%) ^a	+
Природная рента: значимая доля добычи сырья в экономике	В регионе ведется добыча нефти и газа	-
	В регионе ведется добыча угля	-
	Ведется добыча черных или цветных металлов	-
U-образная связь с уровнем экономического развития	ВРП на душу населения (тыс. руб./чел.)	+/-
	ВРП на душу населения (в квадрате) (тыс. руб./чел.)	+
Тертиаризация экономики — рост доли сектора услуг	Доля сектора услуг в ВРП (%)	+
Накопление человеческого капитала	Среднее число лет обучения	+
Агломерационные эффекты	Плотность населения (чел./кв. км)	+
Обновление основных фондов и повышение эффективности их использования	Косвенный индикатор: отношение импорта машин и оборудования к ВРП (%)	+
	Отношение объема инвестиций к ВРП в предшествующие годы (%)	+
Институциональные условия для привлечения инвесторов	Косвенный обратный индикатор: число преступлений на душу населения ^b	-
Рост личного потребления — автомобилизация	Число автомобилей на душу населения	-
Меры экологической политики	Объем инвестиций, направленных на охрану окружающей среды (млн руб.)	+

^a Чем выше соотношение, тем южнее расположен регион при прочих равных условиях.

^b Чем выше уровень преступности, тем выше в целом в регионе социальные и инвестиционные риски и, соответственно, ниже возможности привлечения инвесторов и развития предпринимательства [Баринаова и др., 2018].

благодаря большей производительности, внедрению новых технологий, но также выше в наименее развитых регионах, которые не оказывают существенного влияния на природную среду;

- регионы с более высокой долей сектора услуг более экологически эффективны, так как в них ниже объемы промышленного загрязнения;
- высокий уровень образования в регионе создает спрос на более комфортные условия жизни, экологическую грамотность;

- в плотно заселенных регионах выше производительность и интенсивность использования ресурсов.

Гипотезы, основанные на различиях в решениях и действиях властей за рассматриваемый период:

- в регионах, где стимулировалось обновление фондов предприятий, внедрялись новые технологии, ресурсы используются более эффективно и ниже уровень выбросов;
- в регионах с благоприятной институциональной средой экологическая эффективность выше благодаря привлечению инвестиций в новые предприятия, соблюдению экологических норм и правил;
- стимулирование личного потребления (в частности, приобретение автомобилей) снижает экологическую эффективность регионов;
- увеличение затрат на охрану природы способно повысить экологическую эффективность экономик регионов.

3. Результаты и их обсуждение

Проведя оценку экологической эффективности, мы определили несколько регионов, которые чаще других оказывались на границе производственных возможностей, то есть обладают лучшей практикой¹⁴: Москва, Санкт-Петербург, Ярославская, Свердловская, Брянская, Тамбовская области, Мордовия и Чувашия. Повышение эффективности среднего российского региона до уровня лидеров при сохранении значений ВРП, основных фондов и рабочей силы потребовало бы уменьшения затрат воды, электроэнергии и выбросов на 56%, а объема добычи полезных ископаемых — на 96%.

Впрочем, объемы несырьевого выпуска, а соответственно, и оценки эффективности лидеров могут быть завышены. Во-первых, несмотря на механическое исключение добычи полезных ископаемых из наших оценок несырьевого выпуска, добывающий сектор остается тесно связанным с экономикой всех регионов через финансовые услуги, торговлю, распределение бюджетных расходов и т. д.; сектор сильнее влияет на экономики крупнейших агломераций (Москвы, Санкт-Петербурга)¹⁵. Во-вторых, хотя сами

¹⁴ Для каждого неэффективного региона с помощью модели ДЕА возможно определить несколько лучших практик, то есть осуществить бенчмаркинг. Указанные регионы рассматривались как лучшие практики для наибольшего числа регионов в России.

¹⁵ Этот результат может быть больше связан с перераспределением нефтяной ренты, чем с созданием добавленной стоимости [Зубаревич, 2014; Косарева, Полиди, 2017]. Методика расчета ВРП искажена регистрацией крупных фирм в Москве, Санкт-Петербурге и других крупных агломерациях. При этом основной вид деятельности многих сырьевых корпораций, например ПАО «ГМК «Норильский никель», — это «деятельность по управлению финансово-промышленными группами», что искажает оценку несырьевого выпуска в крупных агломерациях, где располагаются штаб-квартиры компаний.

трансферты федерального бюджета регионам нами исключены из оценок объемов несырьевого выпуска, природная рента распределялась путем финансирования государственных организаций, продукция и услуги которых составляют существенную часть несырьевого выпуска менее развитых регионов-лидеров (например, Мордовии и Чувашии)¹⁶. В целом сформированная централизованная налогово-бюджетная система способствовала сглаживанию социально-экономического и экологического неравенства [Михайлова и др., 2018; Зубаревич, 2014]¹⁷.

Предварительный пространственный анализ (рис. 4) показывает, что более экологически эффективны регионы с крупными агломерациями и относительно диверсифицированной экономикой: Москва, Санкт-Петербург, Нижегородская, Омская, Свердловская, Ленинградская, Челябинская области¹⁸. Благодаря высокой доле сектора услуг, внедрению новых технологий в этих регионах ниже показатели энергопотребления, использования воды и загрязнения атмосферы. Также эффективны отдельные регионы с высокой долей сельского хозяйства и бюджетного сектора: республики Чувашия, Мордовия, Кабардино-Балкария, Брянская, Тамбовская области — из-за малого числа крупных производств и меньших доходов жителей в этих регионах ниже объемы энергопотребления и показатели выбросов от заводов и автотранспорта.

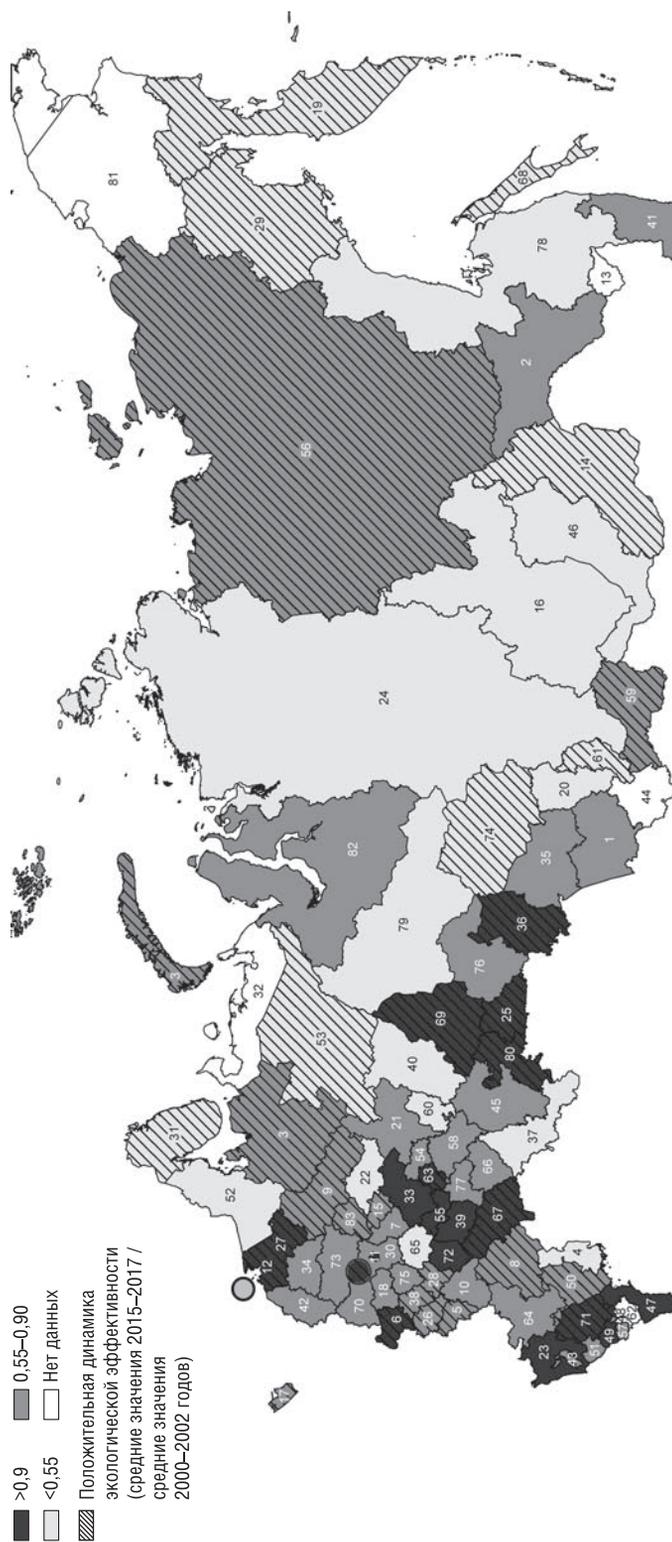
Низкая экологическая эффективность наблюдалась в регионах с высокой долей низкотехнологичной промышленности и, соответственно, с высокими удельными объемами выбросов и потребления энергии: Кемеровская область (черная металлургия, добыча угля), Красноярский край (цветная металлургия, целлюлозно-бумажная промышленность, добыча бурого угля), Оренбургская область (черная и цветная металлургия, добыча газа), Республика Коми (добыча нефти, газа и угля), Иркутская область (цветная металлургия, целлюлозно-бумажная промышленность), Ханты-Мансийский АО и Томская область (нефте- и газодобыча).

Экологическая эффективность среднего региона в России снижалась с 1998 по 2003 годы (рис. 2, б), когда падение курса рубля и благоприятная внешняя конъюнктура способствовали высокой загрузке устаревших основных фондов, преобладала политика со-

¹⁶ По оценкам [Абрамов и др., 2018], в 2016 году доля государственного сектора составила 46% ВВП России. В наименее развитых регионах существенная доля ВРП создается бюджетными организациями.

¹⁷ В 1998–2006 годах коэффициент вариации между регионами по экологической эффективности вырос с 0,29 до 0,36, затем снижился до 0,32 в 2016 году, в 2017-м достиг 0,34. Коэффициент вариации по ВРП на душу населения существенно выше, с 1998 года по 2007-й он вырос с 0,81 до 1,07, но затем также снизился в 2012-м до 0,85, а к 2016-му снова вырос до 0,98.

¹⁸ Несмотря на высокую долю металлургических производств и электроэнергетики в экономике, регион — один из лидеров в России по снижению энергоемкости с 2012 года благодаря модернизации производств.



1. Алтайский край; 2. Амурская обл.; 3. Архангельская обл.; 4. Астраханская обл.; 5. Белгородская обл.; 6. Брянская обл.; 7. Владимирская обл.; 8. Волгоградская обл.; 9. Вологодская обл.; 10. Воронежская обл.; 11. г. Москва; 12. Санкт-Петербург; 13. Еврейская авт. обл.; 14. Забайкальский край; 15. Ивановская обл.; 16. Иркутская обл.; 17. Калининградская обл.; 18. Калужская обл.; 19. Камчатский край; 20. Кемеровская обл.; 21. Кировская обл.; 22. Костромская обл.; 23. Краснодарский край; 24. Красноярский край; 25. Курганская обл.; 26. Курская обл.; 27. Ленинградская обл.; 28. Липецкая обл.; 29. Магаданская обл.; 30. Московская обл.; 31. Мурманская обл.; 32. Ненецкий АО; 33. Нижегородская обл.; 34. Новгородская обл.; 35. Новосибирская обл.; 36. Омская обл.; 37. Оренбургская обл.; 38. Орловская обл.; 39. Пензенская обл.; 40. Пермский край; 41. Приморский край; 42. Псковская обл.; 43. Адыгея; 44. Алтай; 45. Башкортостан; 46. Бурятия; 47. Дагестан; 48. Ингушетия; 49. Кабардино-Балкария; 50. Калмыкия; 51. Карачаево-Черкесия; 52. Карелия; 53. Коми; 54. Марий Эл; 55. Мордовия; 56. Саха; 57. Северная Осетия; 58. Татарстан; 59. Тыва; 60. Удмуртия; 61. Хакасия; 62. Чечня; 63. Чувашия; 64. Ростовская обл.; 65. Рязанская обл.; 66. Самарская обл.; 67. Саратовская обл.; 68. Сахалинская обл.; 69. Свердловская обл.; 70. Смоленская обл.; 71. Ставропольский край; 72. Тамбовская обл.; 73. Тверская обл.; 74. Томская обл.; 75. Тульская обл.; 76. Тюменская обл.; 77. Ульяновская обл.; 78. Хабаровский край; 79. Ханты-Мансийский АО; 80. Челябинская обл.; 81. Чукотский АО; 82. Ямало-Ненецкий АО; 83. Ярославская обл.

Примечание. АСФ — анализ среды функционирования, обобщенный анализ данных (от англ. DEA).

Источник: Росстат.

Рис. 4. Оценка и динамика экологической эффективности регионов России (в среднем за 2015–2017 годы)

хранения ряда неэффективных и ресурсоемких производств. Однако по мере обновления производственных мощностей¹⁹ и структурной трансформации экономики эффективность с 2011 года вновь начала расти и повышалась до 2014-го. Затем экономический рост замедлился на фоне роста выбросов от автомобильного транспорта и роста потребления электроэнергии.

Сравнив динамику экологической эффективности среднего российского региона²⁰ и динамику экономического роста (прирост ВВП на душу населения или ВРП на душу населения для регионов), можно выделить четыре модели развития (в скобках указаны квадранты на рис. 5)²¹:

- устойчивое (I) — рост экономики и экологической эффективности (для России наблюдалось девять из двенадцати лет);
- экстенсивное (II) — рост экономики, но снижение экологической эффективности (семь лет);
- депрессивное (III) — падение подушевого ВВП (ВРП), сочетающееся с ростом экологической эффективности в кризисные 2009 и 2014 годы;
- экологическая деградация (IV) — сокращение экономики при снижении экологической эффективности в кризисный 2015 год.

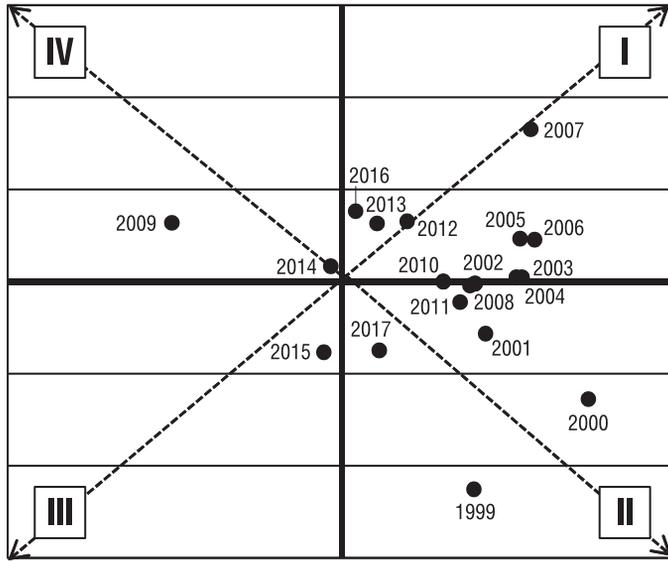
На рис. 6 наглядно показано, насколько различаются регионы по моделям развития в отдельные годы и как сильно на это влияют кризисные явления. В трети рассмотренных случаев реализована модель экстенсивного развития, в четверти — модель устойчивого развития. Экономические кризисы (2008 и 2015 годы) вели к снижению экологической эффективности в большинстве регионов, что связано с более высокими темпами падения выпуска в сравнении с сокращением затрат. Поэтому росла доля регионов, реализовавших модель депрессивного развития и экологической деградации; особенно велико число последних в 2009 и 2015 годах.

В 43 из 74 регионов модель устойчивого развития реализована чаще иных моделей или столько же лет, сколько экстенсивная модель, причем более одиннадцати лет в Санкт-Петербурге, Тамбовской, Ленинградской, Тульской, Липецкой, Вологодской, Орловской областях, Красноярском крае, Дагестане, Забайкаль-

¹⁹ После кризиса 2009 года закрытие нерентабельных ресурсоемких производств ускорилося, так как у частных собственников и государства не было ресурсов для их поддержания или модернизации.

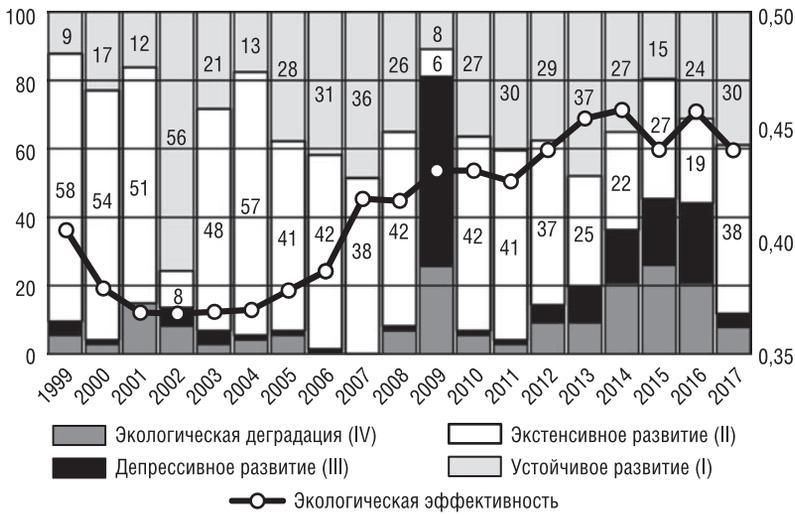
²⁰ Взяты средние арифметические значения первичных переменных для регионов России.

²¹ Впервые методика была предложена Викторией Битюковой [Битюкова, 2014; Битюкова, Попов, 2018]; сравнивались значения промышленного производства и выбросов в атмосферу загрязняющих веществ.



Источник: Росстат.

Рис. 5. Прирост ВВП на душу населения в России (ось абсцисс) и прирост экологической эффективности среднего региона России (ось ординат), 1998-2017 годы (%)



Источник: Росстат.

Рис. 6. Структура моделей развития по числу регионов (%) и экологическая эффективность (правая ось) среднего региона, 1999-2017 годы

ском крае и Хакасии. В 34 регионах, преимущественно сырьевой специализации, преобладала экстенсивная модель развития. Депрессивное развитие более пяти лет наблюдалось только в Коми и Магаданской области, где сокращалось число жителей из-за ми-

грации в южные регионы, снижался ВВП, но соответственно снижалась и нагрузка на экосистемы.

Штриховкой на картосхеме (рис. 4) отмечены субъекты Федерации, развивавшиеся преимущественно по модели устойчивого развития. При этом быстрее всего экологическая эффективность росла в регионах со следующими особенностями:

- 1) лидирующие по инвестиционной привлекательности, запустившие новые производства и сервисы, в том числе за счет прямых иностранных инвестиций и импорта технологий [Земцов, Смелов, 2019]: (например, Ленинградская, Белгородская, Ярославская, Калининградская области);
- 2) крупные металлургические центры, где происходила масштабная модернизация (например, Свердловская, Челябинская, Вологодская, Липецкая области) [Битюкова, 2014; Битюкова, Попов, 2018];
- 3) добывающие регионы, где сократились выбросы попутного нефтяного газа²² (например, Сахалинская, Томская области, Республика Коми);
- 4) регионы, утратившие прежнюю производственную специализацию в результате рыночных преобразований (например, Ивановская, Саратовская, Курганская, Волгоградская, Омская области);
- 5) регионы, где активно шло повышение стоимости земли в крупных агломерациях и интенсифицировались процессы тертиаризации — роста третичного сектора, сферы услуг (например, Москва, Омская, Свердловская, Челябинская области).

Снизилась экологическая эффективность в большинстве регионов, где сохранились производства с низким уровнем передела: в Кемеровской (добыча угля, металлургия), Ростовской (добыча угля), Оренбургской (добыча нефти, газа, меди) областях, Пермском крае (добыча нефти, газа, минеральных удобрений), Карелии (добыча металлов, целлюлозно-бумажная промышленность), а также в областях, нарастивших добывающие мощности: Амурской (железо), Астраханской (природный газ), Иркутской (газ, уголь).

В диверсифицированной Рязанской области низкая и снижающаяся экологическая эффективность во многом связана с деятельностью нефтеперерабатывающего завода.

Для выявления и оценки влияния различных описанных выше факторов на динамику экологической эффективности регионов нами построено несколько многофакторных моделей (табл. 2).

²² С 2012 года ужесточилось наказание за сжигание попутного нефтяного газа.

Т а б л и ц а 2

Результаты выявления и оценки факторов, влияющих на экологическую эффективность регионов России, 2000–2017 годы

Методы, используемые для оценки коэффициентов	Зависимая переменная: оценка экологической эффективности регионов России по методике DEA (от 0 до 1). 1184 наблюдения (модель 1.3 — 1036 наблюдений)									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	Метод наименьших квадратов
Номер модели	<i>Оценки коэффициентов и направления (+/-) влияния переменных</i>									
ВРП на душу населения (тыс. руб./чел.)	-0,001 (0,0003)**	-0,001 (0,0003)**	-0,002 (0,0004)**	-0,0007 (0,0005)	-0,001 (0,0003)**	-0,0007 (0,0004)*	-0,0006 (0,0004)	-0,001 (0,0005)**	-0,0007 (0,0005)**	
ВРП на душу населения (в квадрате) (тыс. руб./чел.)	1,5×10 ⁻⁶ (5,1×10 ⁻⁷)**	1,4×10 ⁻⁶ (4,6×10 ⁻⁷)**	3,2×10 ⁻⁶ (6,6×10 ⁻⁷)**	9,8×10 ⁻⁷ (6,2×10 ⁻⁷)	1,5×10 ⁻⁶ (5,2×10 ⁻⁷)**	1,1×10 ⁻⁶ (5,5×10 ⁻⁷)*	9,4×10 ⁻⁷ (5,5×10 ⁻⁷)*	2,2×10 ⁻⁶ (8,4×10 ⁻⁷)**	1,2×10 ⁻⁶ (7,4×10 ⁻⁷)	
Доля непроизводственного сектора в ВРП (%)	0,005 (0,002)**	0,004 (0,002)**	0,004 (0,002)**	0,005 (0,002)**	0,004 (0,001)**	0,006 (0,001)**	0,005 (0,001)**	0,007 (0,002)**	0,006 (0,002)**	
Отношение импорта машин и оборудования к ВРП (%)	0,001 (0,0003)**	0,001 (0,0003)**	0,001 (0,0005)**	0,001 (0,0004)**	0,001 (0,0004)**	0,001 (0,0004)**	0,001 (0,0004)**	0,002 (0,0007)**	0,001 (0,0006)**	
Отношение объема инвестиций к ВРП (t-2) (%)			0,002 (0,001)*							
Отношение объема продукции растениеводства к ВРП (%)	0,003 (0,0002)*			0,004 (0,002)**	0,005 (0,002)**	0,006 (0,002)**	0,006 (0,002)**	0,01 (0,003)**	0,01 (0,003)**	
Число преступлений на душу населения		-2,32×10 ⁻⁵ (1,1×10 ⁻⁵)**		-4,3×10 ⁻⁵ (1,2×10 ⁻⁵)**	-2,4×10 ⁻⁵ (1,1×10 ⁻⁵)**	-3,5×10 ⁻⁵ (1,2×10 ⁻⁵)**	-3,5×10 ⁻⁵ (1,2×10 ⁻⁵)**	-4,1×10 ⁻⁵ (2,1×10 ⁻⁵)*	-3,3×10 ⁻⁵ (1,8×10 ⁻⁵)*	
Среднее число лет обучения				0,02 (0,008)**	0,02 (0,008)**	0,02 (0,007)**	0,02 (0,007)**	0,05 (0,02)**	0,04 (0,02)**	
Плотность населения (чел./кв. км)					4,1×10 ⁻⁵ (1,1×10 ⁻⁵)**	3,2×10 ⁻⁵ (1,1×10 ⁻⁵)**	2,8×10 ⁻⁵ (1,1×10 ⁻⁵)**	3,5×10 ⁻⁵ (2×10 ⁻⁵)*	3,7×10 ⁻⁵ (1,9×10 ⁻⁵)*	
Число автомобилей на душу населения				-0,0003 (0,0002)*		-0,0003 (0,0002)**	-0,0004 (0,0002)**	-0,0007 (0,0002)**	-0,0006 (0,0002)**	
В регионе ведется добыча угля (дамми-переменная)					-0,16 (0,05)**	-0,16 (0,05)**	-0,1 (0,05)**	-0,12 (0,06)**	-0,08 (0,06)	

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы 2

Зависимая переменная: оценка экологической эффективности регионов России по методике DEA (от 0 до 1). 1184 наблюдения (модель 1.3 — 1036 наблюдений)									
Методы, используемые для оценки коэффициентов	Фиксированные эффекты					Случайные эффекты			Метод наименьших квадратов
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
Номер модели									
В регионе ведется добыча черных или цветных металлов (дамми-переменная)							-0,18 (0,06)***		-0,16 (0,05)***
Константа	0,56 (0,08)***	0,7 (0,07)***	0,78 (0,09)***	0,39 (0,1)***	0,44 (0,1)***	0,32 (0,1)***	0,37 (0,1)***	-0,05 (0,18)	-0,1 (0,17)
<i>Характеристики качества моделей</i>									
Критерий Шварца	-1743	-1748	-1557		-602	-628	-794	-746	-870
LSDV R ²	0,85	0,85	0,86						
Within R ²	0,05	0,05	0,11						
Нормированный R ²								0,48	0,53

Примечание. В скобках указаны робастные стандартные ошибки полученных оценок. Звездочками указаны значимые оценки: *** — наиболее значимые (p-value <0,01), ** — менее значимые (p-value <0,05), * — наименее значимые (p-value <0,1).

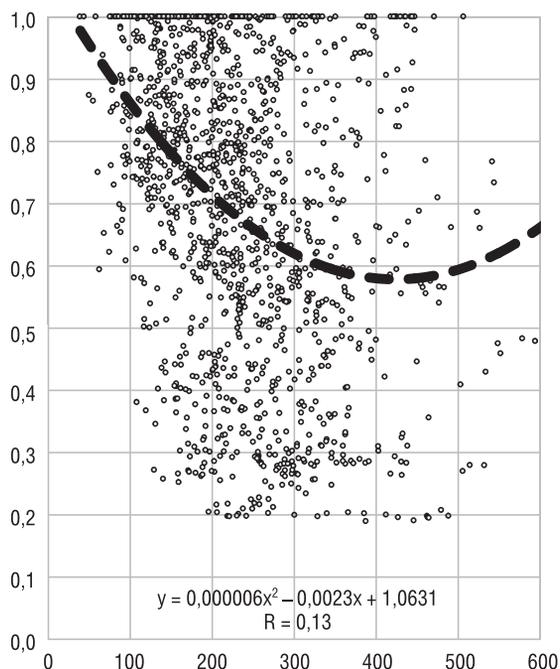
Все зависимые переменные слабо коррелируют друг с другом, нет оснований предполагать наличие мультиколлинеарности. Для целей верификации представлено несколько способов расчета: с учетом фиксированных эффектов, случайных эффектов и модель пула (МНК). Две последние модели использованы также для учета неизменяемых во времени бинарных переменных: наличие/отсутствие добычи угля и металлов в регионе. Результаты эконометрических оценок подтвердили выявленные закономерности и большинство выдвинутых нами гипотез. В целом модели довольно хорошо объясняют общую закономерность (высокий R^2), но не могут применяться для оценок и прогнозирования экологической эффективности конкретных регионов (малый *within* R^2).

Подтверждено, что постиндустриальные регионы с высоким подушевым ВРП и аграрные регионы с низкой производительностью и выбросами загрязняющих веществ были более экологически эффективны даже с учетом множества иных факторов. Положительный, хотя и слабый коэффициент при переменной ВРП на душу населения, возведенной в квадрат, подтверждает гипотезу об экологической кривой Кузнеца (наглядно показано на рис. 7).

Модернизация оборудования снижала объемы выбросов и повышала энергоэффективность предприятий. Поэтому чем выше в регионе доля импорта машин и оборудования в ВРП, тем выше экологическая эффективность. Коэффициент при переменной «отношение объема инвестиций к ВРП» не значим, то есть в регионах с большими объемами инвестиций не было более высоких значений экологической эффективности, так как это преимущественно северные регионы, в которых большая часть инвестиций направлялась в сырьевые отрасли экономики.

Возможности региона по привлечению инвестиций в новые отрасли и обновлению фондов зависят от рисков для инвесторов и предпринимателей, а также от концентрации человеческого капитала, поэтому регионы с высокой преступностью и низким уровнем образования в целом менее эффективны. Для целей политики важно, что на эти факторы могут влиять региональные власти.

Показатель доли продукции растениеводства в ВРП положительно связан с экологической эффективностью, соответственно, в северных регионах, где эта доля минимальна, экологическая эффективность ниже и во многих случаях снижалась из-за повышенных транспортных, энергетических и иных издержек. Подтвердилось, что регионы, в которых ведется добыча угля и металлов, в среднем при прочих равных условиях менее экологически



Источник: Росстат.

Рис. 7. ВРП на душу населения (ось абсцисс, тыс. руб.) и экологическая эффективность регионов России (ось ординат), 1999–2017 годы

эффективны, причем без учета в моделях расходов на последующую рекультивацию нарушенных земель. Таким образом, возможности устойчивого развития в некоторой мере детерминированы природными условиями и ресурсами.

В регионах с высокой плотностью населения экологическая эффективность выше и росла благодаря проявлению агломерационных эффектов [Krugman, 1997]: разнообразие деятельности, интенсивность связей агентов, размер рынка и т. д. Но высокий уровень автомобилизации, характерный для крупнейших агломераций, привел к снижению экологической эффективности из-за растущего загрязнения. Для целей региональной политики важно, что преодолеть экологические проблемы больших городов нельзя путем строительства транспортных магистралей и увеличения числа автомобилей, а только с помощью ограничений на пользование личным автотранспортом [Волошинская, Комаров, 2017].

Меры экологической политики (инвестиции в охрану окружающей среды) оказались незначимы ни в одной из моделей (что противоречит нашей первоначальной гипотезе), так как направлены на решение существующих проблем экологически менее эффективных регионов.

Заключение

Экономический рост в России за последние двадцать лет был основан преимущественно на использовании природных богатств отдельных регионов. Однако механизмы региональной политики на основе межбюджетных трансфертов позволили в определенной степени сгладить социально-экономическое и экологическое неравенство.

Многие регионы, не обладавшие существенными природными ресурсами, также развивались высокими темпами [Земцов, Смелов, 2018]. Это создало условия для реализации модели устойчивого развития, сочетающей рост подушевого ВРП и рост экологической эффективности. Данная модель реализована в России в 2003–2007, 2010, 2012–2013, 2016 годах, что можно объяснить ростом доли непромышленного сектора и обновлением основных фондов. Поэтому модель преобладала в регионах, активно привлекавших инвестиции в новые производства и сервисы: в Москве, Ленинградской, Калининградской, Белгородской областях, в производственных центрах, осуществивших масштабную модернизацию: в Вологодской, Липецкой, Свердловской областях. Вероятность реализации модели устойчивого развития в регионе зависит не только от объективных факторов (географического положения, плотности населения, структуры экономики и т. д.), но и от решений федеральных и региональных властей (межбюджетных трансфертов, политики стимулирования инвестиций, улучшения инвестиционного климата и т. д.). Поэтому предложенный инструмент оценки качества экономического роста может быть востребован при принятии политических решений.

В последние годы доля регионов, которые реализуют модель устойчивого развития, сокращается на фоне неустойчивого экономического роста, увеличения доли сырьевого сектора в экономике и загрязнения от автотранспорта. Но в 2020 году из-за экономического кризиса, вызванного последствиями пандемии и падения цен на нефть, высока вероятность реализации депрессивной модели развития, сочетающей падение подушевого ВВП (ВРП) с ростом экологической эффективности. Это уже наблюдалось в кризисных 2009 и 2014 годах. Темпы автомобилизации и вообще антропогенная нагрузка в результате карантинных мероприятий и сокращения доходов населения снизятся, при этом пострадает малый и средний бизнес, а рост, основанный на добыче сырья, может прекратиться.

Наше исследование дополняет список работ, посвященных целям, факторам и инструментам устойчивого регионального раз-

вития в России²³. Предложенный авторами подход к оценке экологической эффективности может использоваться в исследованиях экономического развития и при определении политических целей. Полученные результаты и выводы могут применяться при выработке рекомендаций в части локализации целей устойчивого развития в разных типах регионов.

В национальном проекте «Экология» до 2024 года предполагается существенное снижение выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников, оздоровление водных объектов, расширение природоохранной деятельности. Наши расчеты позволяют обосновать ряд дополнительных инструментов.

Для большинства регионов России требуется создание стимулов для существенного повышения эффективности извлечения и переработки сырья, энерго- и водосбережения, сокращения атмосферного загрязнения [Bobylev et al., 2015]. Во многих регионах высок потенциал повышения энергоэффективности зданий [Башмаков, 2019] и развития альтернативных источников энергии: ветровой, солнечной, приливной, геотермальной и др. [Lanshina et al., 2018].

Мы считаем целесообразным внедрение специализированных финансовых инструментов: налогового вычета для малых компаний и собственников жилья по компенсации части затрат на установку накрывных панелей, ветрогенераторов [Lanshina et al., 2018], внедрения экологических ваучеров [Spiesberger, Schönbeck, 2019]; необходимо расширение возможностей подключения к сетям общего доступа. Не потеряли актуальности различные меры по квотированию и налогообложению выбросов [Луговой и др., 2015; Bobylev et al., 2015; Nordhaus, 1994].

Мы разделяем выводы [Волошинская, Комаров, 2017], что для сокращения выбросов от автотранспорта в крупнейших агломерациях потребуются внедрить в практику градостроительной деятельности принципы экодора: развитие общественного электротранспорта, велодорожек, каршеринга, снижение этажности застройки, ограничения движения личного автотранспорта и другие меры.

Большинство мер, поддерживающих развитие высокотехнологичных производств и наукоемких сервисов, фактически повышают возможности устойчивого развития регионов. В свою очередь,

²³ Ограничением нашего подхода служит невозможность учета внутрирегиональной дифференциации, а уровень экономического неравенства между муниципалитетами зачастую в разы выше [Бобылев и др., 2014; Bobylev et al., 2015]. Однако муниципальная статистика не позволяет проводить подобные сравнения на всем исследованном периоде. Тем более в существующей бюджетной и налоговой системах даже города нельзя считать в полной мере субъектами принятия решений, соответственно, формально модель DEA не применима к анализу развития муниципальных образований.

повышение сложности региональных экономик путем внедрения экоиноваций, ресурсосберегающих технологий способствует повышению производительности и конкурентоспособности регионов [Луговой и др., 2015; Bobylev et al., 2015; Gibbs et al., 2005; Porter, Van der Linde, 1995]. Структурная трансформация российской экономики взаимосвязана с повышением экологической эффективности, а соответственно, и с возможностями устойчивого развития.

Литература

1. *Абрамов А. Е., Аксёнов И. В., Радыгин А. Д., Чернова М. И.* Современные подходы к измерению государственного сектора: методология и эмпирика // *Экономическая политика*. 2018. Т. 13. № 1. С. 36–69.
2. *Барينوва В. А., Земцов С. П.* Инклюзивный рост и устойчивость регионов России // *Регион: экономика и социология*. 2019. Т. 101. № 1. С. 23–46.
3. *Барينوва В. А., Земцов С. П., Царева Ю. В.* Предпринимательство и институты: есть ли связь на региональном уровне в России? // *Вопросы экономики*. 2018. № 6. С. 92–116.
4. *Башмаков И. А.* Повышение энергоэффективности и экономический рост // *Вопросы экономики*. 2019. № 10. С. 32–63.
5. *Битюкова В. Р.* *Экономико-географическая оценка экологических последствий трансформации территориально-отраслевой структуры хозяйства в России в 1990–2012 гг.*: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2014.
6. *Битюкова В. Р., Попов А. А.* Экологические последствия структурных сдвигов в промышленности России в 1990–2014 гг. // *Экология и промышленность России*. 2015. Т. 19. № 6. С. 4–10.
7. *Бобылев С. Н., Кудрявцева О. В., Соловьева С. В.* Индикаторы устойчивого развития для городов // *Экономика региона*. 2014. № 3. С. 101–110.
8. *Волошинская А. А., Комаров В. М.* Концепции экогорода: рекомендации для России // *Terra Economicus*. 2017. № 4. С. 92–108.
9. *Гуриев С., Сонин К.* Экономика «ресурсного проклятия» // *Вопросы экономики*. 2008. № 4. С. 61–74.
10. *Земцов С. П., Смелов Ю. А.* Факторы регионального развития в России: география, человеческий капитал или политика регионов // *Журнал Новой экономической ассоциации*. 2018. № 4(40). С. 84–108.
11. *Зубаревич Н. В.* Региональное развитие и региональная политика в России // *Всероссийский экономический журнал ЭКО*. 2014. Т. 44. № 4. С. 6–27.
12. *Идрисов Г. И., Мау В. А., Божечкова А. В.* В поисках новой модели роста // *Вопросы экономики*. 2017. № 12. С. 5–23.
13. *Илларионов А., Пивоварова Н.* Экономические последствия ратификации Российской Федерацией Киотского протокола // *Вопросы экономики*. 2004. № 11. С. 34–59.
14. *Косарева Н. Б., Полиди Т. Д.* Оценка валового городского продукта в российских городах и его вклада в ВВП России в 2000–2015 гг. // *Вопросы экономики*. 2017. № 7. С. 5–25.
15. *Луговой О. В., Лайтнер Д., Поташиников В. Ю.* Низкоуглеродное развитие как драйвер экономического роста // *Российское предпринимательство*. 2015. Т. 16. № 23. С. 4221–4228.
16. *Михайлова А. А., Климанов В. В., Сафина А. И.* Влияние межбюджетных трансфертов на экономический рост и структуру региональной экономики // *Вопросы экономики*. 2018. № 1. С. 91–103.
17. *Михайлова Т. Н.* География не судьба! (комментарии к «Сибирскому проклятию» Ф. Хилл и К. Гэдди) // *Journal of Institutional Studies*. 2011. Т. 3. № 1. С. 97–103.

18. *Bell S., Morse S.* Sustainability Indicators: Measuring the Immeasurable? London: Routledge, 2012.
19. *Bobylev S., Kudryavtseva O., Yakovleva Y.* Regional Priorities of Green Economy // *Economy of Region*. 2015. No 2. P. 148–160.
20. *Charnes A., Cooper W., Rhodes E.* Measuring the Efficiency of Decision Making Units // *European Journal of Operation Research*. 1978. Vol. 2. No 6. P. 429–444.
21. *Chen J., Song M., Xu L.* Evaluation of Environmental Efficiency in China Using Data Envelopment Analysis // *Ecological Indicators*. 2015. Vol. 52. P. 577–583.
22. *Gibbs D., Deutz P., Proctor A.* Industrial Ecology and Eco-Industrial Development: A Potential Paradigm for Local and Regional Development? // *Regional Studies*. 2005. Vol. 39. No 2. P. 171–183.
23. *Gómez-Calvet R., Conesa D., Gómez-Calvet A., Tortosa-Ausina E.* Energy Efficiency in the European Union: What Can Be Learned from the Joint Application of Directional Distance Functions and Slacks-Based Measures? // *Applied Energy*. 2014. Vol. 132. P. 137–154.
24. *Grossman G. M., Krueger A. B.* Environmental Impact of a North American Free Trade Agreement. NBER Working Paper. No 3914. 1991.
25. *Horbach J., Rammer C., Rennings K.* Determinants of Eco-Innovations by Type of Environmental Impact — The Role of Regulatory Push/Pull, Technology Push and Market Pull // *Ecological Economics*. 2012. Vol. 78. P. 112–122.
26. *Krugman P.* Development, Geography, and Economic Theory. Cambridge, MA: MIT Press, 1997.
27. *Kubiszewski I., Costanza R., Franco C., Lawn P., Talberth J., Jackson T., Aylmer C.* Beyond GDP: Measuring and Achieving Global Genuine Progress // *Ecological Economics*. 2013. Vol. 93. P. 57–68.
28. *Lanshina T. A., Laitner J. A., Potashnikov V. Y., Barinova V. A.* The Slow Expansion of Renewable Energy in Russia: Competitiveness and Regulation Issues // *Energy Policy*. 2018. Vol. 120(C). P. 600–609.
29. *López R.* The Environment as a Factor of Production: The Effects of Economic Growth and Trade Liberalization // *Journal of Environmental Economics and Management*. 1994. Vol. 27. P. 163–184.
30. *Meadows D., Randers J.* The Limits to Growth: The 30-Year Update. London: Routledge, 2012.
31. *Nordhaus W. D.* Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change. Cambridge, MA: MIT Press, 1994.
32. *Porter M. E., Van der Linde C.* Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship // *Journal of Economic Perspectives*. 1995. Vol. 9. No 4. P. 97–118.
33. *Rashidi K., Shabani A., Saen R. F.* Using Data Envelopment Analysis for Estimating Energy Saving and Undesirable Output Abatement: A Case Study in the Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD) Countries // *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 105. P. 241–252.
34. *Shi G.-M., Bi J., Wang J.-N.* Chinese Regional Industrial Energy Efficiency Evaluation Based on a DEA Model of Fixing Non-Energy Inputs // *Energy Policy*. 2010. Vol. 38. No 10. P. 6172–6179.
35. *Spiesberger M., Schönbeck J.* Innovation Vouchers for the Transition of Energy and Innovation Systems // *Foresight and STI Governance*. 2019. Vol. 13. No 1. P. 70–76.
36. *Stern D. I.* The Environmental Kuznets Curve: A Primer. Crawford School of Public Policy Working Paper. No 1404. 2014.
37. *Stiglitz J., Sen A. K., Fitoussi J. P.* The Measurement of Economic Performance and Social Progress Revisited: Reflections and Overview. Paris, 2009.
38. *Takeda F., Matsuura K.* Trade and Environment in East Asia: Examining the Linkages with Japan and the USA. 2004. <http://ssrn.com/abstract=64204>.
39. *Valadkhani A., Roshdi I., Smyth R.* A Multiplicative Environmental DEA Approach to Measure Efficiency Changes in the World's Major Polluters // *Energy Economics*. 2016. Vol. 54(C). P. 363–375.

40. *Vlontzos G., Niavis S., Manos B.* A DEA Approach for Estimating the Agricultural Energy and Environmental Efficiency of EU Countries // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 40. P. 91–96.
41. *Wang K., Yu S., Zhang W.* China's Regional Energy and Environmental Efficiency: A DEA Window Analysis Based Dynamic Evaluation // *Mathematical and Computer Modelling*. 2013. No 58. P. 1117–1127.
42. *Wang Z.-H., Zeng H.-L., Wei Y.-M., Zhang Y.-X.* Regional Total Factor Energy Efficiency: An Empirical Analysis of Industrial Sector in China // *Applied Energy*. 2012. Vol. 97. P. 115–123.
43. *Yureskul E., Akhremenko A.* State Efficiency in Public Sector Production: Combining DEA and Mathematical Simulation. NRU Higher School of Economics. WP14/2015/01. 2015.
44. *Zemtsov S., Kotsimir M.* An Assessment of Regional Innovation System Efficiency in Russia: The Application of the DEA Approach // *Scientometrics*. 2019. Vol. 120. No 2. P. 1–30.

Ekonomicheskaya Politika, 2020, vol. 15, no. 2, pp. 18-47

Stepan P. ZEMTSOV, Cand. Sci. (Geogr.). Institute of Applied Economic Research, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (82, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation).

E-mail: Zemtsov@ranepa.ru

Vera A. BARINOVA, Cand. Sci. (Econ.). Institute of Applied Economic Research, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (82, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation).

E-mail: barinova-va@ranepa.ru

Vera M. KIDYAEVA, Cand. Sci. (Geogr.). Institute of Applied Economic Research, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (82, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation); Lomonosov Moscow State University (GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation).

E-mail: kidyaeva-vm@ranepa.ru

Tatiana A. LANSHINA, Cand. Sci. (Econ.). Institute of Applied Economic Research, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (82, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation).

E-mail: Lanshina@ranepa.ru

Ecological Efficiency and Sustainable Regional Development in Russia During the 20 Years of Resource-Based Growth

Abstract

Climate change as well as ecological and social problems requires new goals and instruments of economic policy, based on the principles of sustainable development. However, over the past 20 years, an increase in energy prices has resulted in the raw material growth model prevailing in Russia. Has this growth led to sustainable regional development? We propose an approach to evaluating ecological efficiency of the Russian regions as the ratio of the output of non-primary

goods and services to the input of resources (labor, capital, raw materials, and environmental costs). This is a new indicator of the quality of economic growth. The sustainable development model, combining growth of GRP per capita and ecological efficiency, has been observed for more than half of the period in most regions. The eco-efficiency of the average region has been growing since 2003, except crisis periods, following an increase of the services sector share and the closure of inefficient pollution-intensive factories. According to the econometric results, ecological efficiency was growing faster in densely populated regions with a high share of high-tech services, investment attractiveness and intensive technology implementation (Moscow; Saint Petersburg; Sverdlovsk, Tomsk, Belgorod and Kaliningrad regions etc.); it decreased in most northern and Siberian regions. Great potential for raising eco-efficiency remains in most regions. In general, the results of regional development in Russia do not contradict the principles and goals of sustainable development (SDGs), although it was largely achieved due to the system of inter-budget transfers, distributing the oil rent surplus among the regions. In the future, an increase in investments in the non-primary sector, energy efficiency and public transportation will be required. Corresponding changes can be accelerated in the context of an emerging economic crisis caused by the pandemic and falling oil prices.

Keywords: regional development, sustainable development, Russian regions, environmental problems, data envelopment analysis, Kuznets curve.

JEL: R11, Q57, O49, Q32.

References

1. Abramov A. E., Aksenov I. V., Radygin A. D., Chernova M. I. *Sovremennyye podkhody k izmereniyu gosudarstvennogo sektora: metodologiya i empirika* [Modern Approaches to Measuring the State Sector: Methodology and Empirics]. *Ekonomicheskaya politika [Economic Policy]*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 36-69.
2. Barinova V. A., Zemtsov S. P. *Inklyuzivnyy rost i ustoychivost' regionov Rossii* [Inclusive Growth and Regional Resilience in Russia]. *Region: ekonomika i sotsiologiya [Region: Economics and Sociology]*, 2019, vol. 101, no. 1, pp. 23-46.
3. Barinova V. A., Zemtsov S. P., Tsareva Yu. V. *Predprinimatel'stvo i instituty: yest' li svyaz' na regional'nom urovne v Rossii?* [Entrepreneurship and Institutions: Does the Relationship Exist at the Regional Level in Russia?]. *Voprosy ekonomiki*, 2018, no. 6, pp. 92-116.
4. Bashmakov I. A. *Povyshenie energoeffektivnosti i ekonomicheskiy rost* [Energy Efficiency and Economic Growth]. *Voprosy ekonomiki*, 2019, no. 10, pp. 32-63.
5. Bitukova V. R. *Ekonomiko-geograficheskaya otsenka ekologicheskikh posledstviy transformatsii territorial'no-otraslevoy struktury khozyaystva v Rossii v 1990-2012 gg.* [Economic and Geographical Assessment of the Environmental Consequences of the Transformation of the Territorial and Sectoral Structure of the Russian Economy in 1990-2012], abstract of dissertation: 25.00.24, Moscow, Lomonosov Moscow State University, 2014.
6. Bitukova V. R., Popov A. A. *Ekologicheskie posledstviya strukturnykh sdvigo v promyshlennosti Rossii v 1990-2014 gg.* [Ecological Consequences of Russian Industry Structural Shifts in 1990-2014]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]*, 2015, no. 6, pp. 4-10.
7. Bobylev S. N., Kudryavtseva O. V., Solovyova S. V. *Indikatory ustoychivogo razvitiya dlya gorodov* [Sustainable Development Indicators for Cities]. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 2014, no. 3, pp. 101-110.
8. Voloshinskaya A. A., Komarov V. M. *Kontseptsii ekogoroda: rekomendatsii dlya Rossii* [Eco-City Concepts: Recommendations for Russia]. *Terra Economicus*, 2017, no. 4, pp. 92-108.
9. Guriev S., Sonin K. *Ekonomika "resursnogo proklyatiya"* [Economics of the Resource Curse]. *Voprosy ekonomiki*, 2008, no. 4, pp. 62-74.

10. Zemtsov S. P., Smelov Yu. A. Faktory regional'nogo razvitiya v Rossii: geografiya, chelovecheskiy kapital ili politika regionov [Factors of Regional Development in Russia: Geography, Human Capital and Regional Policies]. *Zhurnal Novoy ekonomicheskoy assotsiatsii [Journal of the New Economic Association]*, 2018, vol. 40, no. 4, pp. 84-108.
11. Zubarevich N. V. Regional'noe razvitie i regional'naya politika v Rossii [Regional Development and Regional Policy in Russia]. *Vserossiyskiy ekonomicheskii zhurnal EKO [All-Russian Economic Journal ECO]*, 2014, vol. 44, no. 4, pp. 6-27.
12. Idrisov G. I., Mau V. A., Bozhechkova A. V. V poiskakh novoy modeli rosta [Searching for a New Growth Model]. *Voprosy ekonomiki*, 2017, no. 12, pp. 5-23.
13. Illarionov A., Pivovarov N. Ekonomicheskie posledstviya ratifikatsii Rossiyskoy Federatsiiy Kiotskogo protokola [Economic Consequences of Ratification of the Kyoto Protocol by the Russian Federation]. *Voprosy ekonomiki*, 2004, no. 11, pp. 34-59.
14. Kosareva N. B., Polidi D. D. Otsenka valovogo gorodskogo produkta v rossiyskikh gorodakh i ego vklada v VVP Rossii v 2000-2015 gg. [Assessment of Gross Urban Product in Russian Cities and Its Contribution to Russian GDP in 2000-2015]. *Voprosy ekonomiki*, 2017, no. 7, pp. 5-25.
15. Lugovoy O. V., Laitner J., Potashnikov Yu. V. Nizkouglerodnoe razvitie kak drayver ekonomicheskogo rosta [Low-Carbon Development as an Economic Growth Driver]. *Rossiyskoe predprinimatel'stvo [Russian Journal of Entrepreneurship]*, 2015, vol. 16, no. 23, pp. 4221-4228.
16. Mikhaylova A. A., Klimanov V. V., Safina A. I. Vliyanie mezhhbyudzhethnykh transfertov na ekonomicheskii rost i strukturu regional'noy ekonomiki [The Impact of Intergovernmental Fiscal Transfers on Economic Growth and the Structure of the Regional Economy]. *Voprosy ekonomiki*, 2018, no. 1, pp. 91-103.
17. Mikhaylova T. N. Geografiya ne sud'ba! (kommentarii k "Sibirskomu proklyatiyu" F. Hill i K. Geddi) [Geography Is Not Destiny! (Comments on "Siberian Curse" by F. Hill and C. Gaddy)]. *Journal of Institutional Studies*, 2011, vol. 3, no. 1, pp. 97-103.
18. Bell S., Morse S. *Sustainability Indicators: Measuring the Immeasurable?* L., Routledge, 2012.
19. Bobylev S., Kudryavtseva O., Yakovleva Y. Regional Priorities of Green Economy. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 2015, no. 2, pp. 148-160.
20. Charnes A., Cooper W., Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operation Research*, 1978, vol. 2, no. 6, pp. 429-444.
21. Chen J., Song M., Xu L. Evaluation of Environmental Efficiency in China Using Data Envelopment Analysis. *Ecological Indicators*, 2015, vol. 52, pp. 577-583.
22. Gibbs D., Deutz P., Proctor A. Industrial Ecology and Eco-Industrial Development: A Potential Paradigm for Local and Regional Development? *Regional Studies*, 2005, vol. 39, no. 2, pp. 171-183.
23. Gómez-Calvet R., Conesa D., Gómez-Calvet A., Tortosa-Ausina E. Energy Efficiency in the European Union: What Can Be Learned from the Joint Application of Directional Distance Functions and Slacks-Based Measures? *Applied Energy*, 2014, vol. 132, pp. 137-154.
24. Grossman G. M., Krueger A. B. Environmental Impact of a North American Free Trade Agreement. *NBER Working Paper*, no. 3914, 1991.
25. Horbach J., Rammer C., Rennings K. Determinants of Eco-Innovations by Type of Environmental Impact - The Role of Regulatory Push/Pull, Technology Push and Market Pull. *Ecological Economics*, 2012, vol. 78, pp. 112-122.
26. Krugman P. *Development, Geography, and Economic Theory*. Cambridge, MA, MIT Press, 1997.
27. Kubiszewski I., Costanza R., Franco C., Lawn P., Talberth J., Jackson T., Aylmer C. Beyond GDP: Measuring and Achieving Global Genuine Progress. *Ecological Economics*, 2013, vol. 93, pp. 57-68.
28. Lanshina T. A., Laitner J. A., Potashnikov V. Y., Barinova V. A. The Slow Expansion of Renewable Energy in Russia: Competitiveness and Regulation Issues. *Energy Policy*, 2018, vol. 120(C), pp. 600-609.

29. López R. The Environment as a Factor of Production: The Effects of Economic Growth and Trade Liberalization. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1994, vol. 27, pp. 163-184.
30. Meadows D., Randers J. *The Limits to Growth: The 30-Year Update*. L., Routledge, 2012.
31. Nordhaus W. D. *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*. Cambridge, MA, MIT Press, 1994.
32. Porter M. E., Van der Linde C. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, vol. 9, no. 4, pp. 97-118.
33. Rashidi K., Shabani A., Saen R. F. Using Data Envelopment Analysis for Estimating Energy Saving and Undesirable Output Abatement: A Case Study in the Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD) Countries. *Journal of Cleaner Production*, 2015, vol. 105, pp. 241-252.
34. Shi G.-M., Bi J., Wang J.-N. Chinese Regional Industrial Energy Efficiency Evaluation Based on a DEA Model of Fixing Non-Energy Inputs. *Energy Policy*, 2010, vol. 38, no. 10, pp. 6172-6179.
35. Spiesberger M., Schönbeck J. Innovation Vouchers for the Transition of Energy and Innovation Systems. *Foresight and STI Governance*, 2019, vol. 13, no. 1, pp. 70-76.
36. Stern D. I. The Environmental Kuznets Curve: A Primer. *Crawford School of Public Policy Working Paper*, no. 1404, 2014.
37. Stiglitz J., Sen A. K., Fitoussi J. P. *The Measurement of Economic Performance and Social Progress Revisited: Reflections and Overview*. P., 2009.
38. Takeda F., Matsuura K. *Trade and Environment in East Asia: Examining the Linkages with Japan and the USA*, 2004. <http://ssrn.com/abstract=64204>.
39. Valadkhani A., Roshdi I., Smyth R. A Multiplicative Environmental DEA Approach to Measure Efficiency Changes in the World's Major Polluters. *Energy Economics*, 2016, vol. 54(C), pp. 363-375.
40. Vrontzos G., Niavis S., Manos B. A DEA Approach for Estimating the Agricultural Energy and Environmental Efficiency of EU Countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, vol. 40, pp. 91-96.
41. Wang K., Yu S., Zhang W. China's Regional Energy and Environmental Efficiency: A DEA Window Analysis Based Dynamic Evaluation. *Mathematical and Computer Modelling*, 2013, no. 58, pp. 1117-1127.
42. Wang Z.-H., Zeng H.-L., Wei Y.-M., Zhang Y.-X. Regional Total Factor Energy Efficiency: An Empirical Analysis of Industrial Sector in China. *Applied Energy*, 2012, vol. 97, pp. 115-123.
43. Yureskul E., Akhremenko A. State Efficiency in Public Sector Production: Combining DEA and Mathematical Simulation. NRU Higher School of Economics, *WP14/2015/01*, 2015.
44. Zemtsov S., Kotsemir M. An Assessment of Regional Innovation System Efficiency in Russia: The Application of the DEA Approach. *Scientometrics*, 2019, vol. 120, no. 2, pp. 1-30.