

Экологическая эффективность экономики как основа устойчивого развития региона

© 2024. В. М. Караулов¹, к. ф.-м. н., доцент, Л. В. Караулова², к. п. н., доцент,
В. Н. Пугач¹, к. э. н., ректор, Е. В. Каранина¹, д. э. н., зав. кафедрой,

¹Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

²Кировский государственный медицинский университет,
610998, Россия, г. Киров, ул. К. Маркса, д. 112,
e-mail: Karanina@vyatsu.ru

В статье рассматриваются вопросы устойчивого развития регионов с позиции обеспечения экологической эффективности и экологического благополучия. Представлены подходы к исследованию взаимосвязи экономического роста и воздействия на окружающую среду. Предлагаются простые модели диагностики воздействия растущей экономики на окружающую среду, в том числе экологической эффективности региональной экономики. В основе авторской методики исследования лежит коэффициент экологической нагрузки, который рассчитывается как объём воздействия на окружающую среду на единицу валового регионального продукта, равного стоимостному эквиваленту фиксированного набора потребительских товаров и услуг. Показатель экологической эффективности строится на основе обратной величины коэффициента экологической нагрузки и отражает изменение экологичности экономики относительно базового периода. Исследование динамики экологической нагрузки даёт возможность проводить оценку экологической эффективности экономики, в том числе с позиций декарпинга.

В соответствии с авторской методикой в работе проводится диагностика экологической эффективности экономик регионов Приволжского федерального округа в 2010–2021 гг. на примере загрязнений атмосферного воздуха. В целом наблюдается повышение экологической эффективности и экологического благополучия, но ситуация среди субъектов неоднородная и различается по разным видам загрязнений и по регионам. В некоторых случаях наблюдается ухудшение экологических факторов. Более детально представлен анализ экологической эффективности по Кировской области. Установлено, что регион входит в тройку лидеров антирейтинга экологической эффективности экономик субъектов Приволжского федерального округа относительно выбросов в атмосферный воздух твёрдых веществ, оксида азота и оксида углерода. В целом делается вывод о низкой экологической эффективности экономики Кировской области.

Ключевые слова: экономический рост, устойчивое развитие, декарпинг, экологическое благополучие, эко-эффективность, экологическая эффективность экономики.

Eco-efficiency as the basis for sustainability development of the region

© 2024. V. M. Karaulov¹ ORCID: 0000-0002-9599-3740, L. V. Karaulova² ORCID: 0000-0003-4618-8443,
V. N. Pugach¹ ORCID: 0000-0003-1220-4062, E. V. Karanina¹ ORCID: 0000-0002-5439-5912

¹Vyatka State University,

36, Moscovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

²Kirov State Medical University,

112, Karl Marx St., Kirov, Russia, 610998,

e-mail: Karanina@vyatsu.ru

The article examines issues of sustainable development of regions from the perspective of ensuring environmental efficiency and environmental well-being. Approaches to studying the relationship between economic growth and environmental impact are presented. Simple models for diagnosing the impact of a growing economy on the environment, including the environmental efficiency of the regional economy, are proposed. The author's research methodology is based on the environmental load coefficient, which is calculated as the volume of impact on the environment per unit of gross regional product equal to the value equivalent of a fixed set of consumer goods and services. The environmental efficiency indicator is based on the inverse of the environmental load coefficient and reflects changes in the environmental friendliness of the economy relative to the base period. Studying the dynamics of environmental load makes it possible to assess the environmental efficiency of the economy, including from the standpoint of decaplin.

Using the author's methodology, the work diagnoses the environmental efficiency of the economies of the regions of the Volga Federal District in 2010–2021 using the example of air pollution. In general, there is an increase in environmental efficiency and environmental well-being, but the situation among the subjects is heterogeneous and varies by different types of pollution and by region. In some cases, environmental factors have deteriorated. An analysis of environmental efficiency for the Kirov region is presented in more detail. It has been established that the region is one of the three leaders in the anti-rating of environmental efficiency of the economies of the constituent entities of the Volga Federal District regarding emissions of solid substances, nitrogen oxide and carbon monoxide into the atmospheric air. In general, a conclusion is made about the low environmental efficiency of the economy of the Kirov region.

Keywords: economic growth, sustainable development, decoupling, environmental well-being, eco-efficiency, environmental efficiency of the economy.

Традиционно для оценки состояния национальной экономики и её развития используют показатели валового внутреннего продукта (ВВП): ВВП на душу населения, доходы населения и индексы их роста. Согласно научным исследованиям, с позиций устойчивого развития выделяют три составляющие: сбалансированный самоподдерживающийся экономический рост, гармоничное социальное развитие и формирование благоприятной окружающей среды (ОС) при сохранении экосистем и биоразнообразия [1]. Актуальность данных принципов подтверждается тем, что они отражены странами ООН в 2015 г. в глобальных целях устойчивого развития до 2030 г. [2]. Важность экологической повестки также выражается в том, что в последнее время в качестве одной из составляющих безопасности стали использовать эколого-экономическую безопасность [3]. Для её исследования предполагается рассмотрение региональных техногенных и природных экосистем (ЭС) в комплексе. Региональная естественная ЭС может быть: природной ЭС, не испытывающей техногенной нагрузки, и техногенной. Возникает задача осуществления сбалансированного функционирования региональной ЭС с сохранением естественного биологического разнообразия и экологического равновесия – устойчивого и долгосрочного функционирования природных ЭС, находящихся на той же территории [4].

Влиянию экономического развития на состояние ОС в мировой практике уделяется много внимания, в частности, с конца XX века развивается экологическая экономика, в рамках которой разрабатываются модели взаимодействия эколого-экономических систем, например, с помощью специальных функций загрязнения ОС. Данные модели достаточно громоздки и сложны для анализа. Другое направление исследования связано с разработкой относительно простых моделей IPAT и STIRPAT, понятных и имеющих определённый экологический и экономиче-

ский смысл, расчёты по которым за ретроспективный период позволяют делать разумные выводы и способны привести к относительно небольшому количеству альтернативных управленческих решений [5].

Модели STIRPAT позволили исследовать различные факторы, влияющие на динамику загрязнения ОС. На основе анализа данных была сформирована гипотеза, что с ростом ВВП объём загрязнений увеличивается до определённого уровня и в дальнейшем снижается под воздействием структурных сдвигов и модернизации экономики. Данная зависимость описывается экологической кривой Кузнецца, которая представляет перевёрнутую U-образную кривую [6, 7]. Построение такой кривой для исследования зависимости выбросов в ОС от роста ВВП обычно осуществляется по панельным данным на основе квадратичных и более сложных функций [8]. Эта модель позволяет выявить экологичность экономического развития – эффект декаплинга, который проявляется в форме более низких темпов потребления ресурсов или загрязнения ОС относительно темпов роста экономики. Для количественной оценки эффекта декаплинга в конкретный период может использоваться формула [9]:

$$D_t = 1 - \frac{EP_t}{DF_t} / \frac{EP_{t-1}}{DF_{t-1}}, \quad (1)$$

где EP – показатель, отражающий негативное воздействие на ОС; DF – показатель, отражающий развитие экономики (ВВП, объём производства и др.); t – исследуемый период (год); $(t-1)$ – предыдущий период.

Вариации данного инструмента для измерения количественной и качественной взаимосвязи между экономическим ростом, использованием ресурсов и загрязнением ОС различают декаплинг, каплинг, негативный декаплинг и степень антропогенного воздействия на ОС в зависимости от величины индекса декаплинга и направлений экономического роста [10–12].

Данные инструменты могут использоваться для исследования эколого-экономических взаимосвязей и на региональном уровне [13–17].

Таким образом, обеспечение устойчивого развития предполагает наличие качественного роста – повышение экологической эффективности. В данном контексте в исследованиях деятельности энергетических компаний, а также компаний нефтегазового сектора может встречаться термин «экоэффективность». Это понятие используется при оценке отношения экономической стоимости произведённого и воздействием на ОС при производстве определённого продукта или услуги. Такой показатель получил признание, так как его мониторинг способствует росту ответственности компаний за благополучие ОС. Требования экоэффективности оказывают влияние на формирование систем экологического менеджмента, в том числе сертифицирования, что сказывается на имидже компаний и возможности выхода на мировые рынки [18].

Концепция экологической эффективности также рассматривается и на региональном уровне. Экологически эффективным считается регион, который в сравнении с другими обеспечивает выпуск при минимальном объёме используемых ресурсов и минимальном загрязнении [1]. В этой работе авторы на основе анализа динамики экологической эффективности среднего российского региона и динамики экономического роста выделяют четыре модели развития регионов и факторы устойчивого регионального развития.

В качестве критерия эколого-экономической эффективности в [19] рассматривается отношение выбросов в атмосферу к валовому региональному продукту (ВРП) и на его основе проводится анализ эколого-экономической эффективности природно-социально-производственных систем регионов Приволжского федерального округа (ПФО).

В работе [20] экологическая эффективность оценивается на основе индексов экологического благополучия на единицу выпуска конечного продукта региональной экономики, т. е. воздействия на ОС при пересчёте на выпуск в объёме стоимостного эквивалента одного фиксированного набора потребительских товаров и услуг (ФНПТУ) в регионе, что соответствует концепции экоэффективности в работе [18]. Устанавливается, что индекс общего экологического благополучия зависит от общей экологической эффективности и динамики масштаба экономики – для сохра-

нения общего экологического благополучия (не возрастающего негативного воздействия на ОС) в условиях экономического роста уровень экологической эффективности должен увеличиваться более высокими темпами, чем экономика. Кроме того, устанавливается связь между экологической эффективностью и декарпингом, которая позволяет проводить оценку декарпинга экологического фактора с помощью показателя экологической нагрузки или показателя экологической эффективности.

Отметим, что взаимосвязь состояния ОС и социально-экономического развития (показатели экологической эффективности) ежегодно представляется в федеральных и региональных докладах о состоянии ОС [3, 21, 22]. С учётом рекомендаций Европейской экономической комиссии ООН рассматриваются такие экологические показатели, как выбросы парниковых газов в разбивке по видам деятельности, на душу населения, на единицу ВВП, структура и тенденции выбросов [21]. В том числе представлены сведения о природных и антропогенных факторах, влияющих на состояние ОС, а также о мерах по снижению таких воздействий. В качестве сравнительного анализа экологической эффективности регионов приведено их ранжирование по различным экологическим показателям в расчёте на душу населения.

Цель исследования – на примере загрязнений атмосферного воздуха провести анализ экологической нагрузки и экологической эффективности региональных экономик ПФО в 2010–2021 гг. как основы устойчивого развития с использованием авторской методики, которая учитывает уровень и динамику загрязнения ОС на единицу выпуска ВРП, равного стоимостному эквиваленту ФНПТУ в исследуемом регионе (в дальнейшем используется термин «на единицу выпуска» или «удельное загрязнение»).

Объекты и методы исследования

В качестве факторов негативного воздействия на ОС рассматриваются выбросы в целом (отходящих от стационарных и передвижных источников) и в разрезе наиболее распространённых загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников.

Для проведения исследования использовались данные Росстата за 2010–2021 гг. по субъектам ПФО, а также в целом по России. В качестве инструментов применялись индексные и факторные методы, корреляционно-

регрессионный и другие виды анализа, а также инструменты, разработанные в предыдущих исследованиях – индекс снижения техногенного воздействия или индекс экологического благополучия [4], абсолютный показатель экологической нагрузки [17] и показатель экологической эффективности [20].

Для анализа взаимосвязи между экономическим развитием региона и воздействием на ОС использовались следующие показатели и индикаторы:

$X_i(t)$ – объём загрязняющих веществ i -го вида в период (год) t , тыс. т;

$Q(t)$ – ВРП исследуемого региона (в текущих ценах), млн руб.;

$P(t)$ – стоимость ФНПТУ в исследуемом регионе в период t , руб.;

$q(t) = \frac{Q(t)}{P(t)}$ – ВРП региона, выраженный через стоимостной эквивалент числа ФНПТУ, ед.;

$x_i(t) = \frac{X_i(t)}{q(t)}$ – объём выбросов загрязняющих веществ i -го вида на единичный выпуск [20], т. е. при выпуске ВРП в размере 1 ФНПТУ, кг. По сути, $x_i(t)$ является удельным показателем экологической нагрузки по загрязнению i -го вида.

Показатель изменения экологической нагрузки позволяет просто оценивать декаплинг в период (год) t , связанный с i -го вида загрязнениями ОС [17]:

$$D_i(t) = 1 - \frac{x(t)}{x_i(t-1)} \quad (2)$$

Напомним, что относительно i -го экологического фактора проявляется эффект декаплинга, если $D_i(t) > 0$.

Формула (2) позволяет осуществлять простую оценку экологической эффективности развития в текущем периоде, но, как было показано в [17], внешние шоки могут существенно влиять на проявление эффекта декаплинга. Поэтому в таких условиях становится актуальным обеспечение экологической эффективности в длительном периоде. Заметим, что долгосрочную оценку среднегодового декаплинга в таком случае можно получить на основе экспоненциального тренда $\hat{x}_i(t) = a_i \cdot e^{b_i t}$ временного ряда показателей экологической нагрузки $x_i(t)$ загрязнений i -го вида – $D_i = -b_i$, а также на основе коэффициента детерминации R^2 тренда можно оценить устойчивость полученной среднегодовой оценки D_i .

Показатели экологической эффективности и экологического благополучия отражают качество экономического развития с позиций негативного воздействия на ОС по сравнению с базовыми показателями. В качестве базовых, как в работах [4, 17, 20], используются средние значения за базовый период 2010–2014 гг.:

$$X_i(0) = \frac{X_i(2010) + \dots + X_i(2014)}{5} \text{ – базовый}$$

уровень загрязнений i -го вида, тыс. т;

$$q(0) = \frac{q(2010) + \dots + q(2014)}{5} \text{ – базовый}$$

уровень ВРП в единицах ФНПТУ;

$x_i(0) = \frac{X_i(0)}{q(0)}$ – базовый уровень загрязнений i -го вида в расчёте на единицу выпуска (экологической нагрузки).

На основе базовых и текущих показателей определяются базисные индексы воздействия на ОС, а также индикаторы экологического благополучия и экологической эффективности [17]:

$$Y_i(t) = \frac{X_i(t)}{X_i(0)} \text{ – базисный индекс уровня}$$

загрязнений i -го вида в период t ;

$y_i(0) = \frac{x_i(t)}{x_i(0)}$ – базисный индекс экологической нагрузки – уровня загрязнений i -го вида в период t в расчёте на единицу выпуска;

$$Z_i(t) = \frac{100}{Y_i(t)} = \frac{100X_i(0)}{X_i(t)} \text{ – уровень экологи-}$$

логического благополучия в период t относительно i -го вида загрязнений по сравнению с базовым периодом;

$$z_i(t) = \frac{100}{y_i(t)} = \frac{100x_i(0)}{x_i(t)} \text{ – уровень экологи-}$$

ческой эффективности региональной экономики в период t относительно i -го вида загрязнений, что соответствует показателю экологического благополучия на единицу выпуска конечной продукции, т. е. в объёме стоимости 1 ФНПТУ.

Заметим, что $z_i(t) = Z_i(t) \cdot \frac{q(t)}{q(0)}$, поэтому динамика экологического благополучия относительно i -го вида экологического фактора представляется через годовую динамику экологической эффективности и годовую динамику роста экономики, выраженную через ФНПТУ:

$$\frac{Z_i(t)}{Z_i(t-1)} = \frac{z_i(t)}{z_i(t-1)} / \frac{q(t)}{q(t-1)} = \frac{x_i(t-1)}{x_i(t)} / \frac{q(t)}{q(t-1)} \quad (3)$$

Формула (3) показывает, что для сохранения экологического благополучия фактора должна расти его экологическая эффективность темпами не меньше, чем рост ВРП, выраженный через ФНПТУ. Поэтому в качестве сбалансированного и устойчивого роста экономики можно рассматривать такую ситуацию, когда по важнейшим экологическим факторам наблюдается повышение экологической эффективности темпами не менее темпов всей экономики.

Таким образом, диагностика экологической эффективности может рассматриваться как один из инструментов обеспечения устойчивого развития.

Результаты и обсуждение

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников. Относительно всех выбросов

загрязняющих веществ в атмосферный воздух наибольшую экологическую нагрузку создаёт экономика Кировской области – в 2021 г. объём удельных выбросов в атмосферный воздух (при выпуске в объёме 1 ФНПТУ) составил 6,20 кг, далее идут Оренбургская область – 5,89 кг и Республика Мордовия – 5,76 кг. Наименьшую экологическую нагрузку (на единицу выпуска) в 2021 г. дают экономики Пензенской области – 1,57 кг, Чувашской Республики – 1,69 кг и Ульяновской области – 1,87 кг. Таким образом, разброс в экологической нагрузке на ОС экономик регионов в ПФО составляет почти четыре раза. Отчасти это объясняется отраслевой специализацией регионов. В целом по РФ данный показатель в 2021 г. составил 3,45 кг, а по ПФО – 3,33 кг. Динамика выбросов указанных субъектов в исследуемом периоде представлена на рисунке 1.

Исследование показателей экологической нагрузки в 2010–2021 гг. позволило оценить наличие долгосрочного положительного эффекта декарблинга. Наилучшие результаты среднегодового декарблинга за указанный период демонстрирует Пензенская область – 0,105 при $R^2=0,550$. Данный положительный эффект наблюдается при растущей экономике в среднем за год 2,31%, что выше среднего по-

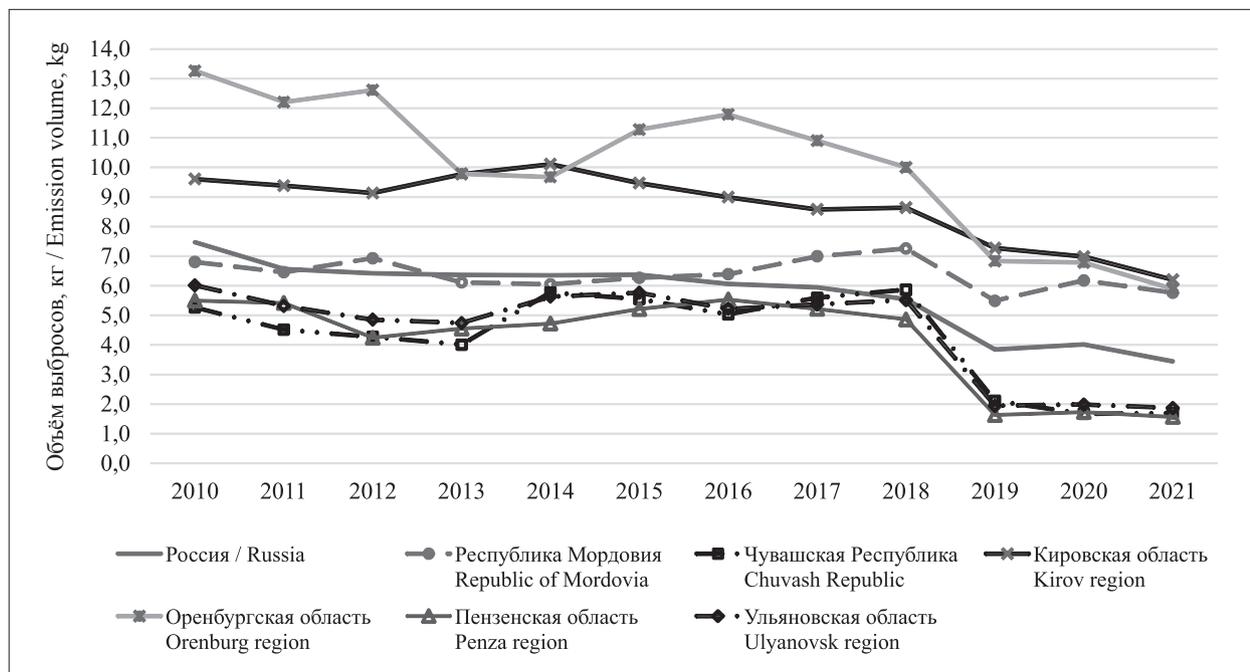


Рис. 1. Удельный объём выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух
Примечание к рисункам 1–3 и таблице 1: удельный объём выбросов рассматривается на единицу валового регионального продукта, стоимостная оценка которого равна фиксированному набору потребительских товаров и услуг в регионе

Fig. 1. Specific volume of emissions of pollutants into the atmosphere
Note to Figures 1–3 and Table 1: the specific volume of emissions is considered per unit of gross regional product, the cost estimate of which is equal to a fixed set of consumer goods and services in the region

казателя по ПФО – 1,86%, но меньше чем по РФ – 2,66% (оценка роста экономик произведена на основе экспоненциальных трендов ВРП, выраженных в ФНПТУ, в частности для Пензенской области модель имеет вид: $y = 7,5087e^{-0,105x}$).

В целом среднегодовой декаплинг по РФ относительно всех выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух составил 0,061 при $R^2=0,792$, а по ПФО – 0,054 при $R^2=0,611$. Все субъекты ПФО в исследуемом периоде показали положительное значение среднегодового декаплинга, при этом половина регионов имеет показатель выше среднего по округу. Кроме указанной выше Пензенской области сюда попадают (в порядке убывания положительного эффекта декаплинга) Ульяновская область (0,097), Самарская область (0,087), Чувашская Республика (0,086), Нижегородская область (0,077), Оренбургская область (0,063) и Пермский край (0,055).

Наиболее устойчивое проявление эффекта декаплинга среди указанных регионов – в Самарской ($R^2=0,824$) и Оренбургской ($R^2=0,713$) областях. В остальных регионах показатель устойчивости $R^2 < 0,700$.

Наибольшее сокращение выбросов загрязняющих веществ в ОС от стационарных и передвижных источников в 2021 г. по сравнению с 2010 г. произошло в Пензенской области (в 3,5 раза), Ульяновской области (в 3,2 раза), Чувашской Республике (в 3,1 раза) и Самарской области (в 3,1 раза). Наименьший рост экологической эффективности наблюдается в Республике Мордовия (сокращение выбросов на 18%), Республике Башкортостан (сокращение выбросов на 45%), Кировской области (сокращение выбросов на 55%) и Саратовской области (сокращение выбросов на 58%). В таблице 1 представлены показатели экологической нагрузки выбросов в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников в исследуемом периоде.

Выбросы в атмосферный воздух от передвижных источников. Структура удельных выбросов относительно стационарных и передвижных источников субъектов ПФО значительно различается и меняется в исследуемом периоде. В целом по РФ доля выбросов от передвижных источников с 40,8% в 2010 г. сокращается до 22,8% в 2021 г. По ПФО данные показатели выше – 50,0 и 30,2% соответственно. В трёх субъектах ПФО доля выбросов от передвижных источников в 2021 г. составила 50% и более – в Саратовской об-

ласти (55,5%), Республике Мордовия (51,8%) и Кировской области (50,0%). В четырёх субъектах доля не превышает 25% – в Оренбургской области (17,0%), Удмуртской Республике (20,0%), Республике Башкортостан (21,9%) и Самарской области (23,9%). В большинстве субъектов ПФО в 2014–2018 гг. наблюдался рост выбросов в атмосферный воздух от передвижных источников, но в 2019–2021 гг. происходило возвращение к тренду, наметившемуся в 2010–2013 гг. Это означает, что основной положительный эффект декаплинга относительно выбросов в атмосферный воздух от передвижных источников стал наблюдаться с 2019 г. Среднегодовой декаплинг за весь рассматриваемый период в целом по РФ составил 0,111, а по ПФО – 0,098. В половине регионов среднегодовой декаплинг превысил среднероссийский показатель (в порядке убывания положительного эффекта): в Пензенской области (0,161), Чувашской Республике (0,157), Самарской области (0,155), Ульяновской области (0,140), Удмуртской Республике (0,124), Республике Марий Эл (0,121) и Нижегородской области (0,113).

Наибольшие и наименьшие объёмы удельных выбросов в атмосферный воздух от передвижных источников в 2021 г. в субъектах ПФО представлены на рисунке 2.

Наибольшее сокращение удельных выбросов загрязняющих веществ от передвижных источников в 2021 г. по сравнению с 2010 г. произошло в Пензенской области (в 6,6 раза), Самарской области (в 6,5 раз) и Чувашской Республике (6,4 раза). Наименьшие сокращения – в Республике Мордовия (в 1,5 раза) и Кировской области (1,6 раза). В остальных субъектах экологическая эффективность экономики повысилась более чем в два раза. В целом по РФ коэффициент экологической нагрузки сократился в 3,9 раза, а по ПФО – в 3,4 раза. Отметим, что по данным источника [21] в 2022 г. Кировская область показывает значительный объём выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников на душу населения среди 85 субъектов РФ – 4 позиция с показателем 0,080 т/чел., а Чувашская Республика – 82 позиция с показателем 0,012 т/чел.

Выбросы наиболее распространённых загрязняющих атмосферу веществ. По ПФО в целом в структуре удельных загрязнений от стационарных источников преобладают выбросы углеводородов и оксида углерода – на их долю приходится более 70% загрязнений (рис. 3).

Таблица 1 / Table 1

Экологическая нагрузка – объём удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, кг
Environmental load – volume of specific emissions of pollutants into the atmosphere, kg

Субъекты / Subjects	Год / Year											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Россия / Russia	7,47	6,57	6,42	6,36	6,35	6,37	6,06	5,95	5,54	3,84	4,01	3,45
Приволжский федеральный округ Volga Federal District	6,83	6,07	5,87	5,98	6,24	6,42	6,42	6,08	5,86	3,66	3,81	3,33
Республика Башкортостан Republic of Bashkortostan	7,09	6,24	5,28	6,29	7,98	8,24	8,48	7,69	7,26	4,91	5,16	4,87
Республика Марий Эл Republic of Mari El	7,80	6,59	5,95	5,22	6,01	5,58	6,97	6,85	6,94	3,77	5,38	3,97
Республика Мордовия Republic of Mordovia	6,80	6,46	6,93	6,11	6,05	6,27	6,39	6,99	7,26	5,49	6,18	5,76
Республика Татарстан Republic of Tatarstan	4,03	3,46	3,45	3,71	3,75	3,92	4,01	3,62	3,99	2,15	2,58	2,06
Удмуртская Республика Udmurt Republic	6,11	4,77	6,59	7,11	7,44	6,47	6,33	6,21	6,66	4,68	3,82	3,55
Чувашская Республика Chuvash Republic	5,26	4,52	4,27	4,01	5,77	5,55	5,03	5,59	5,87	2,11	1,67	1,69
Пермский край Perm region	7,86	6,50	6,43	7,53	6,98	7,10	7,21	7,00	6,41	4,01	4,42	3,77
Кировская область Kirov region	9,61	9,38	9,13	9,77	10,11	9,47	8,99	8,58	8,64	7,27	6,98	6,20
Нижегородская область Nizhny Novgorod Region	5,09	5,33	4,78	5,17	4,76	4,95	4,90	4,76	4,24	2,53	2,32	2,20
Оренбургская область Orenburg region	13,26	12,20	12,61	9,78	9,68	11,27	11,79	10,90	10,00	6,83	6,79	5,89
Пензенская область Penza region	5,50	5,42	4,24	4,55	4,72	5,22	5,53	5,22	4,86	1,63	1,73	1,57
Самарская область Samara Region	7,81	6,82	6,01	5,78	5,74	5,95	5,74	5,44	4,74	3,02	3,29	2,52
Саратовская область Saratov region	6,52	6,25	6,19	5,96	7,01	7,08	6,34	6,35	6,39	4,42	4,52	4,13
Ульяновская область Ulyanovsk region	6,01	5,32	4,85	4,74	5,63	5,76	5,22	5,37	5,52	1,94	1,98	1,87

Наименьшая доля таких загрязнений на единицу выпуска ВРП в 2021 г. фиксируется в Кировской области – 64,7%, а наибольшая – в Чувашской Республике – 80,7%. В целом по России на эти загрязнения приходится 60,0%.

Показатель удельных выбросов оксида углерода в целом по РФ в 2021 г. составил 0,82 кг, а по ПФО – 0,67 кг. Наиболее экологичными в ПФО по данному показателю являются Ульяновская область (0,17 кг), Чувашская Республика (0,21 кг) и Пензенская область (0,21 кг). Наибольшие выбросы в Оренбургской области (2,17 кг), Удмуртской Республике (1,44 кг) и Кировской области (1,21 кг). В остальных субъектах показатели ниже среднероссий-

ского уровня. Наибольший среднегодовой декаплинг в исследуемом периоде в Пермском крае (0,086), Чувашской Республике (0,067), Оренбургской области (0,066). В двух субъектах наблюдается отрицательный эффект декаплинга – в Республике Мордовия (-0,002) и Саратовской области (-0,108). В среднем по РФ среднегодовой декаплинг составил 0,041, а по ПФО – 0,037. Сокращение удельных выбросов оксида углерода по РФ составило 57%, а по ПФО – 47%. Среди субъектов ПФО наибольший рост экологической эффективности показали Пермский край (сокращение удельных выбросов в 2,3 раза) и Оренбургская область (в 2,1 раза). Снижение экологической

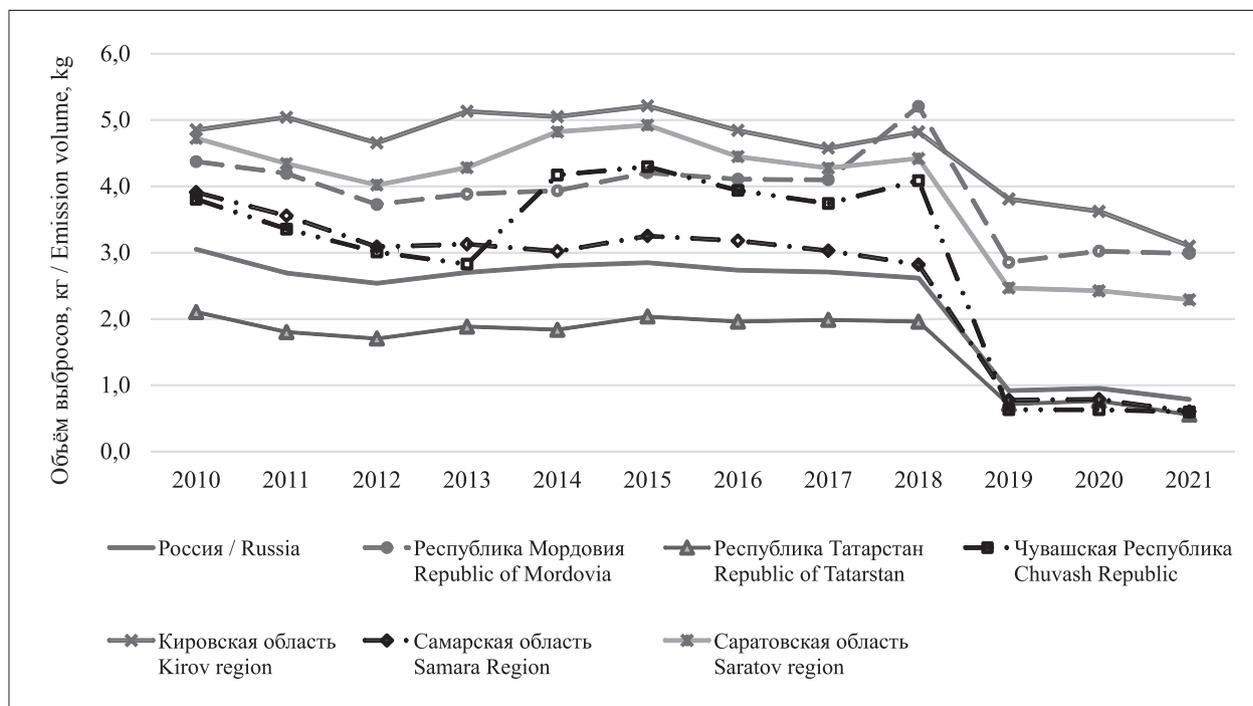


Рис. 2. Объём удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников
 Fig. 2. Volume of specific emissions of pollutants into the atmosphere from mobile sources

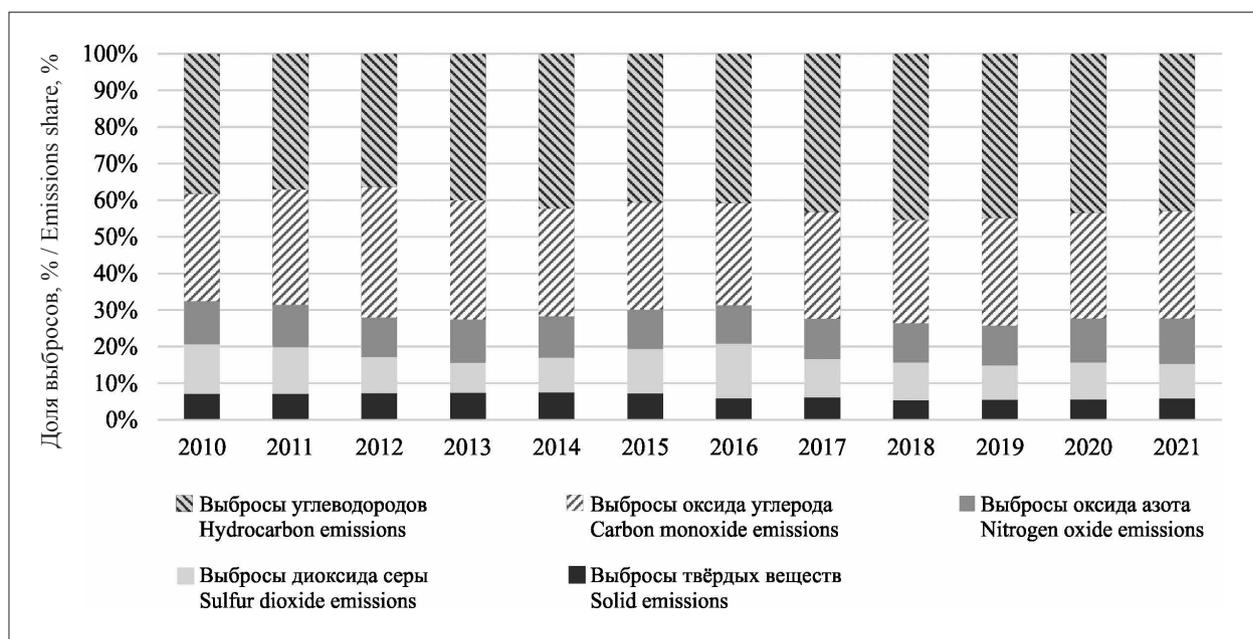


Рис. 3. Структура удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в ПФО
 Fig. 3. Structure of specific emissions of pollutants into the atmosphere from stationary sources in the Volga Federal District

эффективности произошло в Удмуртской Республике (прирост экологической нагрузки на 48%), Саратовской области (47%), Республике Марий Эл (19%) и Пензенской области (11%), но объём удельных выбросов в последнем регионе совсем незначительный (рис. 4).

Показатель удельных выбросов в атмосферный воздух углеводородов в целом по РФ в 2021 г. составил 0,76 кг, а по ПФО – 0,99 кг. Наибольший объём выбросов в Республике Башкортостан (2,02 кг), Пермском крае (1,53 кг), Республике Марий Эл (1,50 кг), Республике Мордовии (1,41 кг) и Оренбургской области

(1,17 кг). Наилучшая экологическая эффективность в Пензенской (0,39 кг), Нижегородской (0,42 кг) и Ульяновской областях (0,57 кг). Среднегодовой декарбонизации выбросов углеводородов в РФ составил 0,020, по ПФО – 0,010. В пяти субъектах ПФО экологическая обстановка относительно выбросов углеводородов ухудшилась – среднегодовые показатели декарбонизации имеют отрицательные значения в Республике Марий Эл (-0,090), Чувашской Республике (-0,043), Республике Мордовия (-0,031), Республике Башкортостан (-0,021) и в Пензенской области (-0,013). Наибольшие улучшения произошли в Самарской области (0,044) и Удмуртской Республике (0,033). Наибольший рост экологической эффективности в 2021 г. по сравнению с 2010 г. относительно выбросов углеводородов произошёл в Самарской области (экологическая нагрузка снизилась в 2,1 раза), Нижегородской области (в 1,8 раза) и Удмуртской Республике (в 1,7 раза). Снижение экологической эффективности произошло в Республике Марий Эл – экологическая нагрузка выросла на 31%, Республике Мордовия на 23%, Кировской и Пензенской областях – на 14%. В целом по

РФ сокращение удельных выбросов произошло на 44%, а по ПФО – на 31%.

В таблице 2 представлены среднегодовые значения декарбонизации и уровень экологической нагрузки (объём удельных выбросов в атмосферный воздух экономики субъекта) относительно различных загрязняющих веществ в 2021 г.

Экологичность развития Кировской области. В период 2010–2021 гг. экономика региона, согласно экспоненциальному тренду показателей ВРП в ФНПТУ, в среднем росла на 2,11% в год. Долгосрочное развитие по показателю коэффициента детерминации носит достаточно устойчивый характер – $R^2=0,852$, но эта характеристика не отражает сбалансированность развития, в частности, относительно воздействия на ОС. Поэтому был проведён сравнительный анализ изменений воздействия экономики Кировской области на ОС по сравнению с аналогичными показателями по ПФО и РФ в целом.

В Кировской области за исследуемый период произошёл рост экологической эффективности – сокращение удельных выбросов в атмосферный воздух, но по всем выбросам

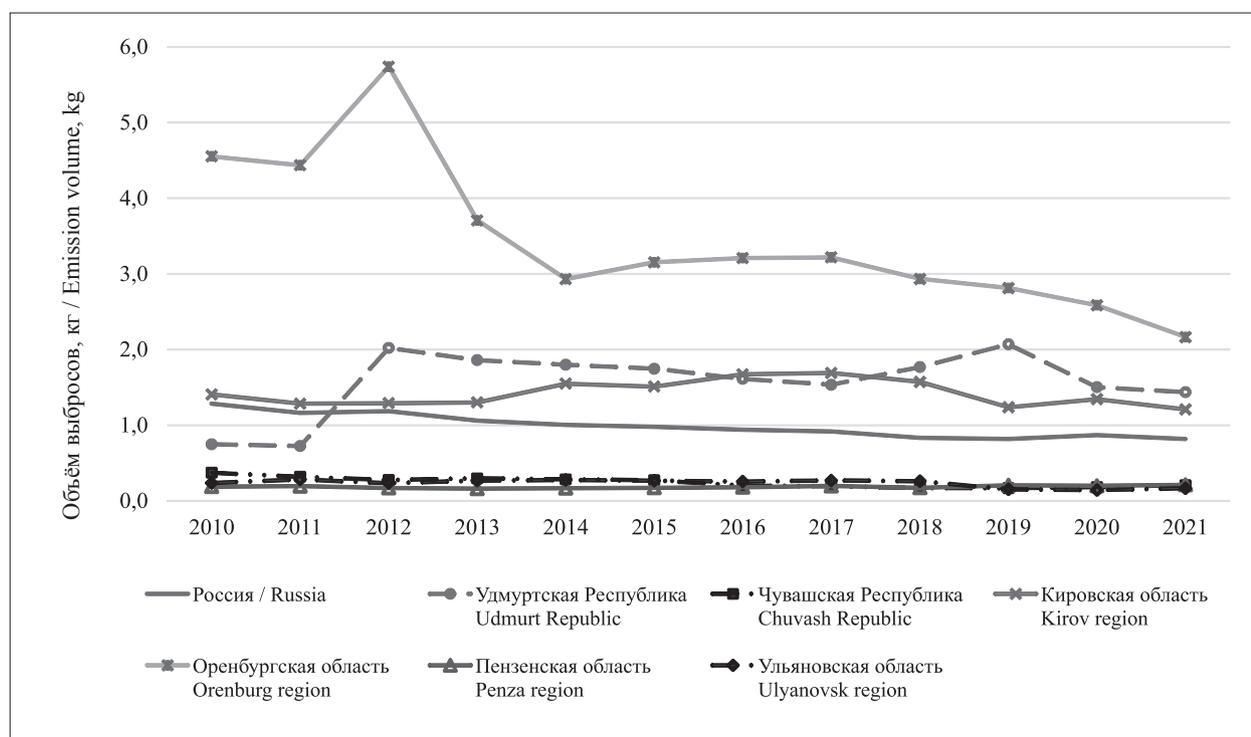


Рис. 4. Объём удельных выбросов оксида углерода

Примечание: объём выбросов оксида углерода пересчитывается на единицу валового регионального продукта, стоимостная оценка которого равна фиксированному набору потребительских товаров и услуг в регионе

Fig. 4. Volume of specific emissions of carbon monoxide

Note: the volume of carbon monoxide emissions is recalculated per unit of gross regional product, the value of which is equal to a fixed set of consumer goods and services in the region

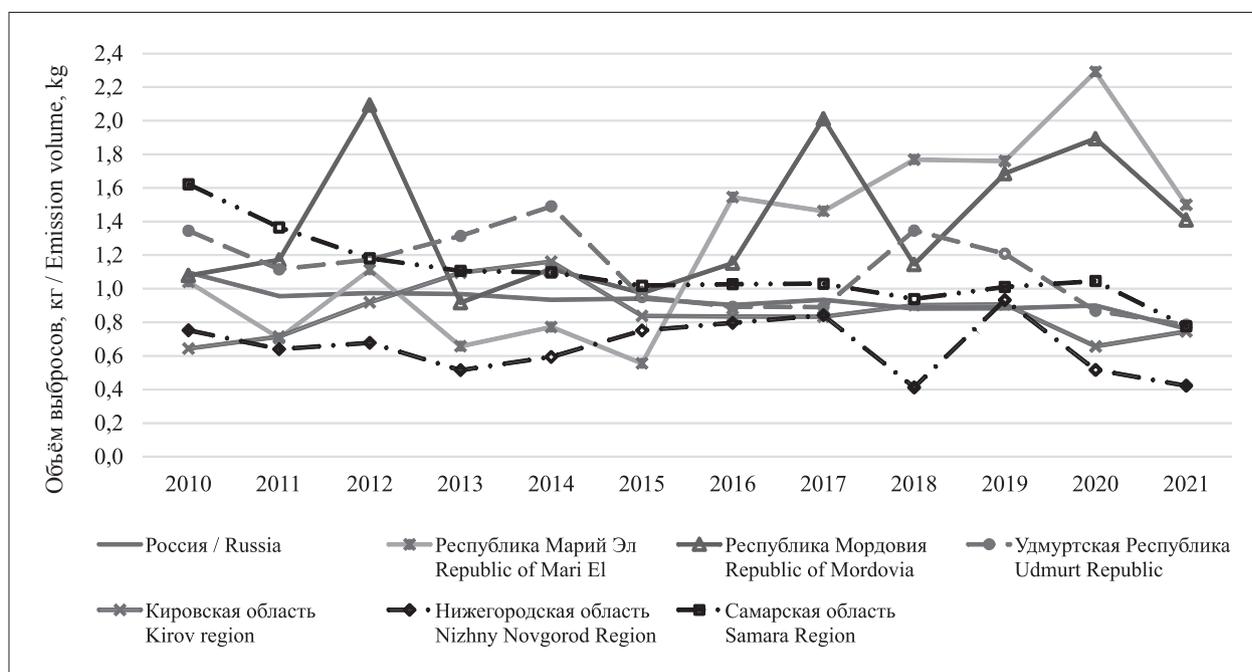


Рис. 5. Объём удельных выбросов углеводородов
Примечание: объём выбросов углеводородов пересчитывается на единицу валового регионального продукта, стоимостная оценка которого равна фиксированному набору потребительских товаров и услуг в регионе

Fig. 5. Volume of specific hydrocarbon emissions
Note: the volume of hydrocarbon emissions is recalculated per unit of gross regional product, the value of which is equal to a fixed set of consumer goods and services in the region

регион в целом уступает показателям округа. Рост экологической эффективности выбросов твёрдых веществ соответствует окружной динамике, а по снижению выбросов оксида азота ситуация лучше – произошло сокращение выбросов на 39,5% при 28,5% по округу. Наилучшие показатели роста экологической эффективности относительно выбросов диоксида серы – снижение экологической нагрузки произошло более чем в семь раз – с 0,82 до 0,11 кг при выпуске в объёме 1 ФНПТУ, тогда как по округу сокращение составило 52,5% – с 0,46 до 0,22 кг. Снижение экологической эффективности произошло только относительно выбросов углеводородов – рост удельных выбросов на 16,0%. Несмотря на снижение удельных выбросов оксида углерода на 14,1%, роста экологической эффективности оказалось недостаточно – из-за растущей экономики общий объём выбросов оксида углерода в атмосферный воздух увеличился на 18,8%. Снижение экологической эффективности относительно выбросов углеводородов на фоне растущей экономики привело к увеличению загрязнения ОС углеводородами на 55,1%. Тем не менее, в Кировской области за исследуемый период с учётом всех источников

произошло сокращение выбросов в атмосферный воздух – на 13,7%, что значительно меньше, чем в целом по ПФО (32,4%) и РФ (31,0%). Загрязнение от передвижных источников сократилось менее 15%, хотя по ПФО и РФ сокращение произошло более чем вдвое. Наилучшие результаты Кировской области по сокращению выбросов диоксида серы в ОС – более чем в пять раз – с 17,6 тыс. т в 2010 г. до 3,2 тыс. т в 2021 г. (табл. 3).

Таким образом, позитивная динамика роста экологичности производства в Кировской области уступает в целом динамике показателей ПФО. По пяти из семи показателей экологической эффективности Кировская область оказывается в тройке аутсайдеров по ПФО (табл. 3). Регион демонстрирует наихудшие показатели в округе по уровню снижения выбросов в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников. Анализ динамично снижающихся выбросов диоксида серы при единичном выпуске показывает, что достигнутый уровень загрязнений не является очень низким – 9 место в округе. А наилучшая – шестая позиция Кировской области в рейтинге субъектов ПФО достигается на фоне снижающейся эффективности – растущих удельных выбросов углеводородов

Таблица 2 / Table 2

Значение среднегодового декарпинга и экологической нагрузки в 2021 г., кг, в субъектах ПФО по различным видам загрязнения атмосферного воздуха
The value of average annual decoupling and environmental load in 2021, kg, in the constituent entities of the Volga Federal District for various types of air pollution

Субъекты Subjects	Все источники All sources	Передвиж- ные источники Mobile sources	Выбросы от стационарных источников / Emissions from stationary sources				
			твёрдые вещества solid	диоксид серы sulfur dioxide	оксид азота nitrogen oxide	оксид углерода carbon monoxide	углево- дороды hydro- carbon
Россия Russia	0,061; 3,45	0,111; 0,79	0,067; 0,26	0,052; 0,50	0,028; 0,30	0,041; 0,82	0,020; 0,76
ПФО Volga Federal District	0,054; 3,33	0,098; 1,01	0,058; 0,13	0,043; 0,22	0,026; 0,28	0,037; 0,67	0,010; 0,99
Республика Башкортостан Republic of Bashkortostan	0,020; 4,87	0,087; 1,07	0,021; 0,18	-0,041; 0,43	0,005; 0,42	0,015; 0,72	-0,021; 2,02
Республика Марий Эл Republic of Mari El	0,036; 3,97	0,121 ; 1,09	0,096; 0,21	0,044; 0,07	0,036; 0,32	0,026; 0,67	-0,090; 1,50
Республика Мордовия Republic of Mordovia	0,009; 5,76	0,026; 2,99	0,050; 0,17	0,078; 0,01	0,004; 0,66	-0,002; 0,42	-0,031; 1,41
Республика Татарстан Republic of Tatarstan	0,046; 2,06	0,098; 0,56	0,040; 0,06	-0,039; 0,16	0,017; 0,20	0,029; 0,33	0,010; 0,74
Удмуртская Республика Udmurt Republic	0,039; 3,55	0,124 ; 0,71	-0,018; 0,24	0,028; 0,08	0,034; 0,28	0,046; 1,44	0,033; 0,79
Чувашская Республика Chuvash Republic	0,086; 1,69	0,157 ; 0,60	0,011; 0,07	0,073; 0,01	0,070; 0,13	0,067; 0,21	-0,043; 0,66
Пермский край Perm region	0,055; 3,77	0,085; 1,01	0,051; 0,14	0,024; 0,09	0,045; 0,38	0,086; 0,59	0,017; 1,53
Кировская область Kirov region	0,036; 6,20	0,035; 3,10	0,051; 0,57	0,189 ; 0,11	0,045; 0,38	0,001; 1,21	0,004; 0,75
Нижегородская область Nizhny Novgorod Region	0,077; 2,20	0,113 ; 1,05	0,061; 0,08	0,148 ; 0,06	0,048; 0,26	0,012; 0,33	0,021; 0,42
Оренбургская область Orenburg region	0,063; 5,89	0,091; 1,00	0,091; 0,22	0,059; 0,94	0,027; 0,37	0,066; 2,17	0,019; 1,17
Пензенская область Penza region	0,105 ; 1,57	0,161 ; 0,69	0,048; 0,07	0,227 ; 0,02	0,040; 0,14	0,013; 0,21	-0,013; 0,39
Самарская область Samara Region	0,087; 2,52	0,155 ; 0,60	0,091; 0,10	0,102 ; 0,17	0,029; 0,22	0,039; 0,62	0,044; 0,78
Саратовская область Saratov region	0,036; 4,13	0,059; 2,29	0,065; 0,10	0,014; 0,13	-0,021; 0,26	-0,108; 0,41	0,023; 0,92
Ульяновская область Ulyanovsk region	0,097; 1,87	0,140 ; 0,81	0,089; 0,09	0,136 ; 0,03	0,012; 0,17	0,046; 0,17	0,024; 0,57

Примечание: первый показатель – среднегодовое значение декарпинга за 2010–2021 гг., жирным шрифтом выделены значения с повышенным эффектом декарпинга (более 0,100); второй показатель – коэффициент экологической нагрузки – объём выбросов загрязняющих веществ на единицу выпуска экономики, т. е. при производстве конечного продукта, стоимостная оценка которого равна фиксированному потребительскому набору товаров и услуг в регионе.

Note: the first indicator is the average annual decoupling value for 2010–2021, values with an increased decoupling effect (more than 0.100) are highlighted in bold; the second indicator is the environmental load coefficient – the volume of pollutant emissions per unit of economic output, i.e. in the production of a final product, the value of which is equal to a fixed consumer set of goods and services in the region.

Таблица 3 / Table 3

Влияние экономического развития Кировской области, ПФО и РФ
на загрязнения атмосферного воздуха в 2010–2021 гг.
The impact of economic development of the Kirov region, Volga Federal District
and the Russian Federation on air pollution in 2010–2021

Субъекты Subjects	Все источники All sources	Передвиж- ные источники Mobile sources	Выбросы от стационарных источников Emissions from stationary sources				
			твёрдых веществ solid	диоксида серы sulfur dioxide	оксида азота nitrogen oxide	оксида углерода carbon monoxide	углево- дородов hydro- carbon
Динамика выбросов, 2021/2010, кг/кг Emission dynamics, 2021/2010, kg/kg							
Россия / Russia	0,690	0,386	0,693	0,736	1,051	0,876	1,039
ПФО Volga Federal District	0,676	0,408	0,769	0,660	0,990	0,965	1,055
Кировская область Kirov region	0,863	0,854	0,749	0,182	0,809	1,188	1,551
Динамика удельных выбросов, 2021/2010, кг/кг Dynamics of specific emissions, 2021/2010, kg/kg							
Россия / Russia	0,462	0,258	0,463	0,492	0,703	0,636	0,695
ПФО Volga Federal District	0,488	0,295	0,555	0,477	0,715	0,680	0,762
Кировская область Kirov region	0,646	0,639	0,560	0,136	0,605	0,859	1,160
Объём удельных выбросов в 2021 г., кг Volume of specific emissions in 2021, kg							
Россия / Russia	3,45	0,79	0,26	0,50	0,30	0,82	0,76
ПФО Volga Federal District	3,33	1,01	0,13	0,22	0,28	0,67	0,99
Кировская область Kirov region	6,20	3,10	0,57	0,11	0,38	1,21	0,75
Место Кировской области в ПФО	14	14	14	9	12	12	6
Отношение выбросов Кировская область / ПФО	1,86	3,08	4,28	0,51	1,35	1,79	0,75

(отметим, что в 2020 г. ТЭЦ были переведены с торфа и угля на газ). Это позволяет утверждать о низкой экологической эффективности экономики Кировской области. Данный вывод в целом может говорить о преобладании в экономике достаточно устаревшего оборудования, что является препятствием к повышению экологической эффективности. Экономический рост в этих условиях приведёт к увеличению антропогенного воздействия на ОС, что в дальнейшем может негативно сказаться на развитии социальной сферы, в частности, на условиях проживания в регионе. Данные выводы подтверждаются Национальным экологическим рейтингом – по итогам 2022 г. и зимы 2023 гг. Кировская область занимала 54 место, а в период зима-весна 2024 г. уже 57 место [23].

Заключение

Экологическое благополучие предполагает сокращение антропогенного воздействия на ОС. На фоне растущей экономики это возможно только при повышении экологической эффективности темпами, превышающими экономический рост. Поэтому устойчивое экономическое развитие должно сопровождаться соответствующим повышением экологической эффективности экономики. Для диагностики экологичности экономики может быть использован показатель экологической эффективности, обратный показателю антропогенного воздействия экологического фактора – коэффициента экологической нагрузки. Для межрегиональных сопоставлений данные показатели рассчитываются на единицу выпуска экономики, т. е.

выпуск в объёме, стоимостная оценка которого соответствует цене фиксированного набора потребительских товаров и услуг в регионе. Относительное сокращение экологической нагрузки является коэффициентом декаплинга, характеризующим положительный эффект воздействия экономического роста на ОС. Для исследования декаплинга в долгосрочном периоде можно использовать среднегодовое значение декаплинга на основе экспоненциального тренда коэффициента экологической нагрузки.

Часто экологическую эффективность оценивают на основе показателей воздействия на ОС с учётом различных факторов: с учётом площади и плотности населения; по объёму выбросов загрязняющих веществ от передвижных и стационарных источников; по валовому выпуску продукции (масштабу всей экономики); относительно динамики загрязнения; с учётом специфики и структуры экономики регионов и т. д. Рейтинги регионов по данным показателям могут значительно различаться, поэтому при оценке экологического благополучия населения нужен комплексный подход с учётом различных факторов.

Результаты исследования экологической эффективности экономик регионов ПФО на примере выбросов в атмосферный воздух показали в целом повышение экологического благополучия – снижения выбросов на фоне растущих экономик. Но ситуация в регионах неоднородная как с позиций достигнутого уровня техногенного воздействия, так и динамики его снижения. Увеличение экологической эффективности не всегда обеспечивает сохранение экологического благополучия в регионах на фоне растущих экономик. Диагностика и сопоставление экологической нагрузки на ОС различных регионов позволяет в полной мере вскрыть проблемы с позиций обеспечения устойчивого и сбалансированного экономического развития.

Статья подготовлена при поддержке гранта Президента Российской Федерации НШ-5187.2022.2 для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации в рамках темы исследования «Разработка и обоснование концепции, комплексной модели резиллиент-диагностики рисков и угроз безопасности региональных экосистем и технологии ее применения на основе цифрового двойника».

References

1. Zemtsov S.P., Kidyaeva V.M., Barinova V.A., Lanshina T.A. Environmental efficiency and sustainable development of Russian regions over the twenty years of raw materials growth // *Economic Policy*. 2020. V. 15. No. 2. P. 18–47 (in Russian). doi: 10.18288/1994-5124-2020-2-18-47
2. UN. About the Sustainable Development Goals [Internet resource] <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> (Accessed: 20.02.2024).
3. On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2020. State report. Moskva: Ministry of Natural Resources and Environment of Russia; Moscow State University named after M.V. Lomonosova, 2021. 864 p. (in Russian).
4. Karanina E.V., Karaulov V.M., Kartavykh K.E. Conceptual approach to diagnosing the ecological and economic security of the region // *Theoretical and Applied Ecology*. 2022. No. 4. P. 214–223 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-4-214-223
5. Druzhinin P.V., Shkiperova G.T., Potasheva O.V. Study of the relationship between environmental and economic indicators: modeling and analysis of calculations / Ed. P.V. Druzhinin. Petrozavodsk: Karelian Research Center RAS, 2019. 127 p. (in Russian).
6. Selden T., Song D. Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? // *Journal of Environmental Economics and Management*. 1994. No. 27 (2). P. 147–162.
7. Panayotou T. Demystifying the environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool // *Environment and Development Economics*. 1997. No. 2 (4). P. 465–484.
8. Auci S., Becchetti L. The instability of the adjusted and unadjusted environmental Kuznets curves // *Ecological Economics*. 2006. V. 60. P. 282–298.
9. Shkiperova G.T. Analysis and modeling of the relationship between economic growth and environmental quality (on the example of the Republic of Karelia) // *Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika*. 2014. No. 43 (394). P. 41–49 (in Russian).
10. Tapio P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001 // *Transport Policy*. 2005. V. 12. P. 137–151.
11. Arsakhanova Z.A., Khazhmuradov Z.D., Khazhmuradova S.D. Decoupling in economics – essence, definition and types // *Obshchestvo, ekonomika, upravleniye*. 2019. V. 4. No. 4. P. 13–18 (in Russian).
12. Polyakov V.V. Decoupling as a mechanism for eliminating environmental and economic contradictions: essential content and features of assessment // *Ekonomika i ekologiya territorial'nykh obrazovaniy*. 2021. V. 5. No. 4. P. 37–43 (in Russian). doi: 10.23947/2413-1474-2021-5-4-37-43
13. Shkiperova G.T. Ecological Kuznets curve as a tool for studying regional development // *Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika*. 2013. No. 19 (322). P. 8–16 (in Russian).

14. Druzhinin P.V., Shkiperova G.T., Potasheva O.V. Features of the development of Russian regions and the ecological Kuznets curve // *Regional'naya ekonomika. Yug Rossii*. 2020. V. 8. No. 1. P. 155–167 (in Russian). doi: 10.15688/re.volsu.2020.1.14
15. Zabelina I.A., Delyuga A.V. Ecological and economic trends in the Baikal region and the Far East in the context of institutional changes // *EKO*. 2019. No. 5 (539). P. 66–88 (in Russian).
16. Shkiperova G.T., Kurilo A.E. Assessing the sustainability of regional socio-ecological-economic systems // *Problemy rynochnoy ekonomiki*. 2021. No. 1. P. 47–61. doi: 10.33051/2500-2325-2021-1-47-61
17. Karaulova L.V., Karaulov V.M. Statistical analysis of the influence of economic development on the environment and the state of the social sphere in the regions of the Volga Federal District // *Ekonomika i upravleniye: problemy, resheniya*. 2023. V. 3. No. 12 (141). P. 59–69 (in Russian). doi: 10.36871/ek.up.p.r.2023.12.03.007
18. Gorbunova O.I., Kanitskaya L.V. Development of methods for assessing eco-efficiency as the main requirement for the implementation of the principles of the “green economy” // *Issues of innovative economics*. 2019. V. 9. No. 2. P. 419–434 (in Russian). doi: 10.18334/vinec.9.2.40609
19. Karanina E.V., Pugach V.N., Kartavykh K.E. Analysis of the environmental and economic efficiency of the functioning of the regions of the Volga Federal District // *Theoretical and Applied Ecology*. 2023. No. 4. P. 225–234 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2023-4-225-234
20. Karaulova L.V., Karaulov V.M. Multifactorial model for assessing the environmental friendliness of regional economic development // *Ekonomika i upravleniye: problemy, resheniya*. 2024. V. 3. No. 2 (143). P. 41–53 (in Russian). doi: 10.36871/ek.up.p.r.2024.02.03.006
21. On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2022. State report. Moskva: Ministry of Natural Resources and Environment of Russia; Moscow State University named after M.V. Lomonosova, 2023. 686 p. (in Russian).
22. Regional report “On the state of the environment of the Kirov region in 2022” [Internet resource] <https://priroda.kirovreg.ru/library/doklad-regionalnyy-ostoyanii-okruzhayushchey-sredy-kirovskoy-oblasti-v-2022-godu.html?ysclid=lxxzx0wiyg40221589> (Accessed: 20.06.2024) (in Russian).
23. National environmental rating [Internet resource] <https://greenpatrol.ru/stranica-dlya-obshchego-reytinga> (Accessed: 20.06.2024) (in Russian).