

pISSN 2073-039X
eISSN 2311-8725

Комплексный экономико-социально-экологический анализ

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ АНАЛИЗА СРЕДЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Светлана Валерьевна РАТНЕР ^{a,*},

Андрей Олегович КОВАЛЕВ ^b

^a доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник,
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН);
профессор кафедры экономико-математического моделирования,
Российский университет дружбы народов (РУДН),
Москва, Российская Федерация
lanarat@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3485-5595>
SPIN-код: 7840-4282

^b аспирант,
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН),
Москва, Российская Федерация
andreykovalev193@gmail.com
ORCID: отсутствует
SPIN-код: 3998-5518

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 245/2021
Получена 29.04.2021
Получена в
доработанном виде
10.05.2021
Одобрена 24.05.2021
Доступна онлайн
29.06.2021

УДК 338.2

JEL: C67, Q58

Ключевые слова:

эффективность, система
экологического
менеджмента,
анализ среды
функционирования,
динамическая задача

Аннотация

Предмет. Несмотря на реализацию национального проекта «Экология», предпринимаемые попытки развития низкоуглеродной энергетики и транспорта, проведение «мусорной реформы» и другие мероприятия, направленные на снижение негативного воздействия экономики на окружающую среду, эко-эффективность производственных систем в России остается низкой. Это подтверждается межстрановыми сравнениями статистических показателей ресурсоемкости, энергоемкости и углеродоемкости российской экономики. Основные функции экологического менеджмента осуществляются в стране на региональном уровне. Однако пока что показатели эко-эффективности региональной экономики не включены в систему показателей, согласно которой оценивается деятельность региональных властей.

Цели. Разработка методики оценки сравнительной эффективности региональных систем экологического менеджмента с учетом существенной неоднородности регионов по эко-эффективности; разработка подходов к оценке эко-эффективности региональных экономических систем, результативности работы системы экологического менеджмента на региональном уровне, интеграция данных подходов в единую методологию.

Методология. Использованы общенаучные методы исследования.

Результаты. Разработанный подход включает одновременное решение двух задач анализа среды функционирования, одна из которых сформулирована для оценки эко-эффективности экономики региона, а другая – для оценки эффективности расходования средств, направленных на охрану окружающей среды в регионе. В результате решения двух задач исследователь получает большое количество информации, которая может быть использована при разработке стратегий регионального развития.

Выводы. Предложен новый подход к решению задач сравнительной оценки эффективности региональных систем экологического менеджмента с учетом структурной неоднородности экономик регионов. Результаты исследования могут быть использованы для разработки мер стимулирования деятельности региональных властей в сфере экологического менеджмента и повышения их ответственности за эффективность природоохранных мероприятий.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2021

Для цитирования: Ратнер С.В., Ковалев А.О. Методика оценки эффективности региональной системы экологического менеджмента на основе моделей анализа среды функционирования // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2021. – Т. 20, № 6. – С. 1014 – 1042.
<https://doi.org/10.24891/ea.20.6.1014>

В настоящее время большинство развивающихся стран главной стратегической целью своего развития полагают экономический рост, повышение конкурентоспособности на мировых рынках, достижение технологического лидерства или как минимум – технологического суверенитета, а также решение таких социальных проблем, как ликвидация бедности, повышение уровня жизни населения. При этом экологические проблемы, хотя и осознаются властями и бизнес-сообществом, не получают должного внимания ввиду ограниченности управленческих, финансовых и технологических ресурсов. В целом такая ситуация характерна и для России. Расходы на охрану окружающей среды в Российской Федерации существенно ниже, чем, например, во многих странах Европейского союза (*рис. 1*).

Несмотря на реализацию национального проекта «Экология», предпринимаемые попытки развития низкоуглеродной энергетики и транспорта, проведение «мусорной реформы» и другие мероприятия, направленные на снижение негативного воздействия экономики на окружающую среду, эко-эффективность производственных систем в России остается низкой [1, 2]. Это подтверждается межстрановыми сравнениями статистических показателей ресурсоемкости, энергоемкости и углеродоемкости российской экономики (*рис. 2*).

Основные экологические проблемы решаются в России на федеральном уровне посредством реализации федеральных программ и проектов. В то же время рутинный мониторинг соблюдения экологического законодательства, сбор данных о состоянии окружающей среды, просветительская работа с населением и бизнесом, распределение средств, поступающих в виде платы за негативное воздействие предприятий на окружающую среду происходят на региональном уровне [3, 4]. Поэтому в научной литературе, посвященной проблемам экологического менеджмента в России, принято говорить о территориальных/региональных системах экологического менеджмента, хотя ни в стандартах на системы экологического менеджмента серии ИСО 14000, ни в законодательстве такой термин официально не используется.

Центром принятия решений и центром ответственности в региональной системе экологического менеджмента является региональное министерство природных ресурсов и экологии (подразделение региональной администрации). Однако пока что показатели эко-эффективности региональной экономики не включены в систему показателей, согласно которой оценивается деятельность региональных властей (например, показатели KPI глав регионов) [5–7]. По нашему мнению, введение таких показателей в систему оценки эффективности деятельности региональных администраций могло бы существенно улучшить качество экологического менеджмента на региональном уровне.

Следует отметить, что общепринятых подходов к оценке эффективности региональных систем экологического менеджмента в российской литературе не существует. В работах [8, 9] предлагался подход к оценке эффективности региональной системы экологического менеджмента на основе использования моделей анализа среды функционирования (англоязычный термин Data Envelopment Analysis, DEA), в которых система экологического менеджмента рассматривается как система типа «черный ящик», то есть только на основе сопоставления значений входных и выходных параметров. При этом как входы рассматривались затраты на охрану окружающей среды в регионе, а как выходы – положительные изменения в эко-эффективности региональной экономики. Преимуществом данного подхода является комплексный учет широкого спектра различных категорий воздействия экономики на окружающую среду, а также расчет значений целевых показателей для каждого региона, достижение которых позволяет стать эффективным в эколого-экономическом смысле. Кроме того, преимуществом данного подхода является его логичность и естественность, так как эффективность региональной системы экологического менеджмента понимается в чисто экономическом смысле как отношение полученных положительных результатов к затратам, произведенным для достижения этих результатов.

В то же время данный подход не учитывает степени эко-эффективности экономик различных регионов. Как известно, пространственное развитие России является сильно неоднородным. Регионы России существенно различаются между собой не только природно-климатическими условиями, площадью, населением, уровнем экономического развития, но и структурами экономик. Поэтому региональные системы экологического менеджмента как субъекты управления изначально находятся в неравных условиях. В некоторых регионах структура экономики является более благоприятной, легче поддается управляющему воздействию, позволяет достичь более значимых результатов в снижении ресурсоемкости ВРП. Примерами могут быть регионы с энергоемкой промышленностью, в которых внедрение передовых энергоэффективных производственных технологий позволяет снизить энергоемкость и как следствие – углеродоемкость экономики [10, 11]. А внедрение инновационных технологий очистки выбросов позволяет быстро снизить удельные выбросы других загрязняющих веществ в атмосферу и воду. В

других же регионах структура экономики такова, что не позволяет существенно снизить ресурсоемкость производства. Например, даже при активном внедрении инновационных агротехнологий сложно достичь существенного снижения потребления воды или земли в зерноводстве [12]. В регионах с высокой долей в ВРП транспортного сектора (например, в регионах расположения крупных морских портов) невозможно наложить ограничения на перемещение транспортных средств, идущих транзитом, или изменить их экологические характеристики [13].

Целью нашей работы является развитие подхода, изначально предложенного в исследованиях [8, 9], и адаптация его для решения задач оценки сравнительной эффективности региональных систем экологического менеджмента с учетом существенной неоднородности регионов по эко-эффективности.

Понятие эко-эффективности часто используется в литературе по экологическому менеджменту. Впервые это понятие было объяснено в работах [14–17], которые представили эко-эффективность как способность продукционной системы одновременно достигать положительных экономических и экологических эффектов, то есть увеличивать прибыль, сокращая одновременно негативное воздействие на окружающую среду. В этих работах понятие эко-эффективности ставилось в противовес традиционным представлениям о том, что повышение экологической эффективности производственной системы неизбежно ведет к затратам и снижает тем самым экономическую эффективность. Таким образом, эко-эффективность рассматривалась больше как процесс внедрения эко-инноваций. Такое понимание закреплено в документах World Business Council for sustainable development¹, где эко-эффективность рассматривается как процесс постоянного сокращения негативных воздействий на окружающую среду.

В дальнейшем в литературе эко-эффективность стала пониматься более статично. Например, в работе [18] под эко-эффективностью понимается эффективность использования природных ресурсов при производстве продукции. В работе [19] эко-эффективность производственной системы понимается как ее способность производить минимально возможное количество выбросов за счет использования наилучших доступных технологий. Такой подход к определению эко-эффективности получил широкое распространение за счет активного использования методологии анализа среды функционирования (АСФ) в решении задач оценки сравнительной эффективности производственных систем, в том числе региональных производственных систем. Например, в работах [20–23] экологическая эффективность рассматривается как способность продукционной системы минимизировать нежелательные выходы (негативные экстерналии производственной деятельности) при фиксированных значениях входов (материальных и людских ресурсов) и желательных выходов (ВРП или другого экономического показателя результатов деятельности продукционной системы).

¹ WBCSD, 2000. Eco-Efficiency: Creating More Value with Less Impact. World Business Council for Sustainable Development, Geneva.

В наших работах² [24] эко-эффективность рассматривается как способность производственной системы производить максимальные желательные выходы при минимальных негативных воздействиях на окружающую среду. При этом подразумевается, что снижение негативных экологических эффектов достигается за счет более рационального использования всех видов входных ресурсов, то есть в понятие эко-эффективности включаются эффективное использование не только природных ресурсов, но также людских и финансовых. Кроме того, желательным выходом является не только ВРП как полезный результат функционирования экономики региона, но и количество населения. То есть учитывается эко-эффективность бытовой сферы – жилищно-коммунального хозяйства региона, системы городской мобильности и т.д. Такое понимание эко-эффективности мы считаем наиболее полным и будем использовать в нашем исследовании.

Что касается понимания эффективности системы экологического менеджмента в регионе, то как уже было отмечено, мы опираемся на подход, предложенный в работах [8, 9]. В этих работах система экологического менеджмента считается эффективной, если при наименьших затратах на охрану окружающей среды она позволяет достичь наибольших положительных изменений в эко-эффективности региона.

Классическая постановка задачи анализа среды функционирования, ориентированной по входу, может быть записана следующим образом:

$$\max_{u,v} \sum_{m=1}^M u_m y_{m0}, \quad (1)$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^M u_m y_{mk} - \sum_{n=1}^N v_n x_{nk} &\leq 0, \quad k = 1, 2, \dots, K, \\ \sum_{n=1}^N v_n x_{n0} &= 1, \\ u_m, v_n &\geq 0, \quad m = 1, 2, \dots, M, \quad n = 1, 2, \dots, N, \end{aligned} \quad (2)$$

где 0 – индекс объекта (региона), для которого решается задача оптимизации;

X – вектор входов размерности N ;

Y – вектор выходов размерности M ;

K – количество объектов (регионов).

² Ratner S., Ratner P. Measuring Efficiencies of Regional Eco-Management Systems with DEA. Proceedings of 2017 IEEE 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). URL: <https://doi.org/10.1109/ICAICT.2017.8686907>

В данной модели изыскивается возможность пропорционального сокращения входов без сокращения выходов (ориентация по входу). Множеством производственных возможностей модели называется множество наборов векторов (X, Y) , для которых

$$\sum_{j=1}^n X_j \lambda_j \leq X, \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j \geq Y, \lambda_j \geq 0, \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, j = 1, \dots, n.$$

Оптимальным решением будет такой набор весовых коэффициентов при входах и выходах, при котором отношение взвешенной суммы выходов к взвешенной сумме входов будет максимальным для всех объектов (регионов). Данное отношение является мерой эффективности и всегда лежит в интервале от 0 до 1.

Входы и выходы двух задач АСФ, решаемых параллельно, представлены в *табл. 1*. Выбор конкретных статистических показателей для оценки воздействия экономики региона на окружающую среду обусловлен особенностями статистического учета состояния окружающей среды в Российской Федерации. Нами были учтены все показатели, публикуемые в открытом доступе на регулярной основе.

Первая задача является задачей определения сравнительной эко-эффективности региона. Значение коэффициента эффективности 1 у региона в задаче 1 говорит о том, что данный регион производит максимально возможное количество экономически и социально полезного продукта (ВРП и количество населения) при минимально возможной нагрузке на окружающую среду (по всем учитываемым показателям). Данная задача может быть решена как для одного временного периода (как правило, одного года), так и на временном интервале (например, за 3–5 лет).

Во втором случае задача будет являться динамической, и для ее решения необходимо использовать метод «окна» или другие методы решения динамических задач. В данной работе задача 1 решается на временном промежутке 5 лет (с 2015 по 2019 г.) с применением метода «окна». Данный временной промежуток является оптимальным для решения динамических задач оценки сравнительной эффективности развития региональных экономических систем, так как полностью укладывается во временные рамки кардинальных технологических изменений³.

Задача 2 является задачей определения сравнительной эффективности систем экологического менеджмента регионов. Она также решается на временном промежутке 5 лет, однако для ее решения используется обычный «статический метод». Изменения удельных негативных экологических эффектов рассчитываются как разница удельного эффекта в момент времени t_1 (начало периода) и удельного эффекта в момент времени t_2 (конец периода). Под удельным негативным

³ Ratner S., Ratner P. Measuring Efficiencies of Regional Eco-Management Systems with DEA. Proceedings of 2017 IEEE 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). URL: <https://doi.org/10.1109/ICAICT.2017.8686907>

экологическим эффектом понимается объем негативного воздействия на окружающую среду (например, объем выбросов в атмосферу) на единицу ВРП (или на одного человека). По своему содержанию данные показали близки к показателям ресурсоемкости (энергоемкости, углеродоемкости и т.д.). Текущие затраты суммируются по всему временному периоду. Аналогичным образом суммируются инвестиции в основной капитал. При такой постановке задачи удастся избежать проблемы оценки времени возврата инвестиций и учета соответствующих временных лагов между вложением инвестиций и получением положительного результата от них. Заметим, что в обеих задачах все показатели, измеряемые в денежных единицах, необходимо дефлировать, то есть учитывать изменение стоимости денег во времени, так как иначе сравнения показателей в разные периоды времени будут некорректными.

Еще одной особенностью предлагаемого подхода является комплексная постановка задачи 2. Данная комплексность заключается в том, что задача оценки сравнительной эффективности системы регионального экологического менеджмента разбивается на две в соответствии с двумя сферами регионального развития – экономической и сферой обеспечения жизнедеятельности населения. Далее общая эффективность рассчитывается как среднее арифметическое двух коэффициентов эффективности. Такой подход к оценке эффективности региональных систем экологического менеджмента применен впервые.

Математическая формулировка задачи АСФ (1), (2) является традиционной для задач ВСС [25]. Как известно, задачи ВСС являются более реалистичными, так как учитывают основные законы экономического развития, а их решение дает больше информации, которая может использоваться для принятия управленческих решений [26]. В частности, это информация об эффекте масштаба каждого из исследуемых объектов, о соотношении чистой технической эффективности объекта и его эффективности по масштабу и т.д. Кроме того, задачи ВСС позволяют просто и корректно работать с отрицательными выходами (если таковые появляются у исследуемых объектов) посредством проведения процедуры сдвига шкалы [27].

Решение двух задач АСФ дает большое количество информации, которая легко интерпретируема и может быть использована для разработки стратегии регионального развития (табл. 2).

Сопоставление результатов решения задач 1 и 2 позволяет выявить случаи, когда регион с высокой эко-эффективностью имеет систему экологического менеджмента с низкой эффективностью, и наоборот, когда регион с низкой эко-эффективностью имеет P с высокой эффективностью. Данные случаи являются наиболее интересными с практической точки зрения. Очевидно, что инструменты экологического менеджмента, используемые в таких регионах, можно считать наихудшими и наилучшими соответственно. Кроме того, в регионах с высокой эко-эффективностью и низкой эффективностью региональной системы экологического

менеджмента (РСЭМ) можно говорить как минимум об элементах нерационального использования финансовых ресурсов, направляемых на охрану окружающей среды, а как максимум – о фактах коррупции.

Проведенные нами расчеты показали, что к регионам с наибольшей эко-эффективностью в период с 2015 по 2019 г. относятся (*рис. 3–10*):

- в Центральном федеральном округе – Брянская, Владимирская, Ивановская и Калужская области, а также Москва;
- в Северо-Западном федеральном округе – Калининградская область;
- в Южном федеральном округе – Севастополь и Республика Крым;
- в Северо-Кавказском федеральном округе – Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Кабардино-Балкарская Республика и Чеченская Республика;
- в Приволжском федеральном округе – Республика Мордовия, Чувашская Республика, Саратовская и Ульяновская области;
- в Уральском федеральном округе – Курганская и Тюменская области;
- в Сибирском федеральном округе – Алтайский край и Омская область;
- в Дальневосточном федеральном округе – Сахалинская область и Чукотский автономный округ.

В 67 регионах эко-эффективность на протяжении 2016–2019 гг. растет (хотя не всегда монотонно), в 13 регионах – падает, в 2 регионах остается стабильной. К регионам с убывающей эко-эффективностью относятся Орловская и Тамбовская области (*рис. 3*), Ставропольский край (*рис. 5*), Севастополь, Республика Крым (*рис. 6*), Чувашская Республика, Саратовская область (*рис. 7*), Челябинская область (*рис. 8*), Алтайский край, Омская и Томская области (*рис. 9*), Чукотский автономный округ (*рис. 10*).

К регионам с наибольшей эффективностью РСЭМ в течение 2015–2019 гг. относятся:

- в Центральном федеральном округе – Брянская, Ивановская, Костромская, Московская и Тверская области;
- в Северо-Западном федеральном округе – Республика Коми, Вологодская, Ленинградская, Мурманская, Новгородская и Псковская области,
- в Южном федеральном округе – Республика Адыгея, Республика Калмыкия и Севастополь;

- в Северо-Кавказском федеральном округе – Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Кабардино-Балкарская Республика, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Северная Осетия – Алания, Чеченская Республика;
- в Приволжском федеральном округе – нет;
- в Уральском федеральном округе – Челябинская область;
- в Сибирском федеральном округе – Алтайский край, Республика Тыва, Республика Бурятия, Забайкальский край;
- в Дальневосточном федеральном округе – Еврейская автономная область и Чукотский автономный округ.

Почти все региональные системы экологического менеджмента имеют убывающий эффект масштаба как в экономической сфере, так и в сфере жилищно-коммунального хозяйства и личной мобильности. Это означает, что увеличение финансирования РСЭМ (текущих затрат и инвестиций в основной капитал) приводит к непропорционально малому увеличению эко-эффективности регионов. Исключение составляют лишь РСЭМ Брянской области, Республики Ингушетия, Республики Калмыкия, Чеченской Республики и Республики Тыва.

Наибольшее количество вопросов возникает к деятельности РСЭМ Курской области, Москвы, Калининградской области, Республики Крым, Республики Мордовия, Чувашской Республики, Саратовской области, Курганской области, Алтайского края, Омской области и Сахалинской области, где при высокой эко-эффективности самих регионов эффективность РСЭМ является низкой (*рис. 11*). На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что в данных регионах средства на охрану окружающей среды расходуются неэффективно, хотя структура экономики является вполне благоприятной.

К региональным системам экологического менеджмента, использующим наиболее эффективные подходы и практики, можно отнести РСЭМ Костромской области, Республики Коми, Вологодской области, Ленинградской, Мурманской и Новгородской областей, Республики Адыгея, Республики Карачаево-Черкессия, Республики Бурятия и Забайкальского края, где при неблагоприятной структуре экономики и низкой эко-эффективности самих регионов затраты на охрану окружающей среды приносят существенные изменения в эко-эффективности.

Нами предложен новый подход к решению задач сравнительной оценки эффективности региональных систем экологического менеджмента с учетом структурной неоднородности экономик регионов. Разработанный подход включает одновременное решение двух задач анализа среды функционирования, одна из которых сформулирована для оценки эко-эффективности экономики региона, а другая – для оценки эффективности расходования средств, направленных на охрану

окружающей среды в регионе. В результате решения двух задач исследователь получает большое количество информации, которая может быть использована при разработке стратегий регионального развития. В частности, полученная информация может быть использована для разработки мер стимулирования деятельности региональных властей в сфере экологического менеджмента и повышения их ответственности за эффективность природоохранных мероприятий.

Предложенный подход апробирован на примере решения задачи сравнительной оценки эффективности деятельности РСЭМ в России в период 2015–2019 гг. Однако разработанный нами метод не привязан к конкретным территориям и может быть использован для проведения аналогичных исследований в других странах и регионах. Также разработанный метод не имеет жесткой привязки к набору статистических показателей, используемых для оценки экологической ситуации на какой-либо территории. Используемые в данном исследовании в расчетах статистические показатели могут быть заменены на другие, если они отражают негативное воздействие экономики и жилищно-коммунального сектора региона на окружающую среду.

К ограничениям предложенного подхода можно отнести то, что в связи с особенностями построения границ эффективности в методологии анализа среды функционирования, наибольшей эффективностью всегда будут обладать объекты, имеющие нулевые входы [28]. В реальной практике экологического менеджмента такие ситуации возможны. Они происходят в том случае, когда в регионе вообще не осуществляются затраты на охрану окружающей среды. В нашем практическом примере именно такая ситуация наблюдается в Брянской области, где на протяжении всего исследуемого периода инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды, равны нулю. Такой практический случай требует дополнительного исследования, чтобы понять, почему это происходит: региону не нужны такого рода инвестиции или региональные власти не могут создать необходимую систему стимулов для предприятий, чтобы они осуществляли такие инвестиции. Устранение указанных ограничений является предметом дальнейших исследований.

Таблица 1**Входы и выходы задач анализа среды функционирования****Table 1****Inputs and outputs of data envelopment analysis (DEA) tasks**

Задача	Входы	Выходы
1. Определение сравнительной эко-эффективности региона	Объем выбросов в атмосферу от стационарных источников, тыс. т. Объем выбросов в атмосферу от передвижных источников, тыс. т. Объем сбора сточных вод, млн м ³ . Объем использования свежей воды, млн м ³ . Объем образования отходов производства и потребления, т	ВРП, млн руб. Количество населения, чел.
2. Определение сравнительной эффективности системы регионального экологического менеджмента	<i>В экономической сфере</i> Текущие затраты на охрану окружающей среды, млн руб. Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды, млн руб. <i>В сфере жилищно-коммунального хозяйства и личной мобильности</i> Текущие затраты на охрану окружающей среды, млн руб. Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды, млн руб.	Изменение удельных выбросов в атмосферу от стационарных источников, тыс. т/млн руб. Изменение удельных выбросов в атмосферу от передвижных источников, тыс. т/млн руб. Изменение удельного сбора сточных вод, млн м ³ /млн руб. Изменение удельного потребления свежей воды, млн м ³ /млн руб. Изменение удельного отхоодообразования, т/млн руб. Изменение удельных выбросов в атмосферу от стационарных источников, тыс. т/чел. Изменение удельных выбросов в атмосферу от передвижных источников, тыс. т/чел. Изменение удельного сбора сточных вод, млн м ³ /чел. Изменение удельного потребления свежей воды, млн м ³ /чел. Изменение удельного отхоодообразования, т/чел.

Источник: авторская разработка*Source:* Authoring

Таблица 2**Показатели, получаемые в результате решения задач АСФ****Table 2****Indicators obtained as a result of solving the data envelopment analysis (DEA) tasks**

Задача	Показатели
1. Определение сравнительной эко-эффективности региона	1. Коэффициенты эко-эффективности региона за каждый год исследуемого периода. 2. Бенчмарки (эталонные объекты) для каждого региона за каждый год исследуемого периода. 3. Целевые показатели входов (или выходов), которые необходимо достичь региону, для того, чтобы стать эко-эффективным, для каждого региона в каждый год исследуемого периода. 4. Направление эффекта масштаба (возрастающий, убывающий, постоянный) для каждого региона в каждый год исследуемого периода. 5. Коэффициенты чистой технической эко-эффективности и эко-эффективности по масштабу для каждого региона в каждый год исследуемого периода
2. Определение сравнительной эффективности системы регионального экологического менеджмента	1. Коэффициенты эффективности РСЭМ за исследуемый период. 2. Бенчмарки (эталонные объекты) для каждой РСЭМ за исследуемый период. 3. Целевые показатели входов (или выходов), которые необходимо достичь РСЭМ, чтобы стать эффективной для каждого региона за период. 4. Направление эффекта масштаба (возрастающий, убывающий, постоянный) для каждой РСЭМ за исследуемый период. 5. Коэффициенты чистой технической эффективности и эффективности по масштабу для каждой РСЭМ за период

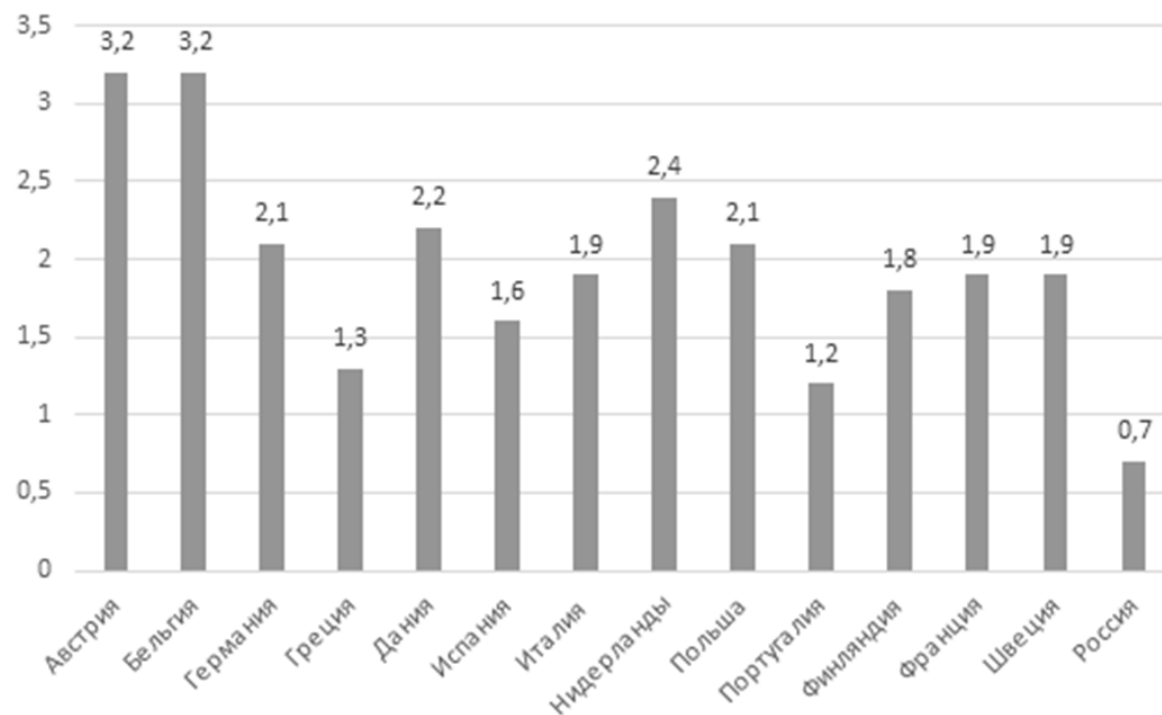
Источник: авторская разработка*Source:* Authoring

Рисунок 1

Затраты на охрану окружающей среды, доли от ВВП

Figure 1

Environmental costs, a proportion of GDP



Источник: авторская разработка по данным Росстата

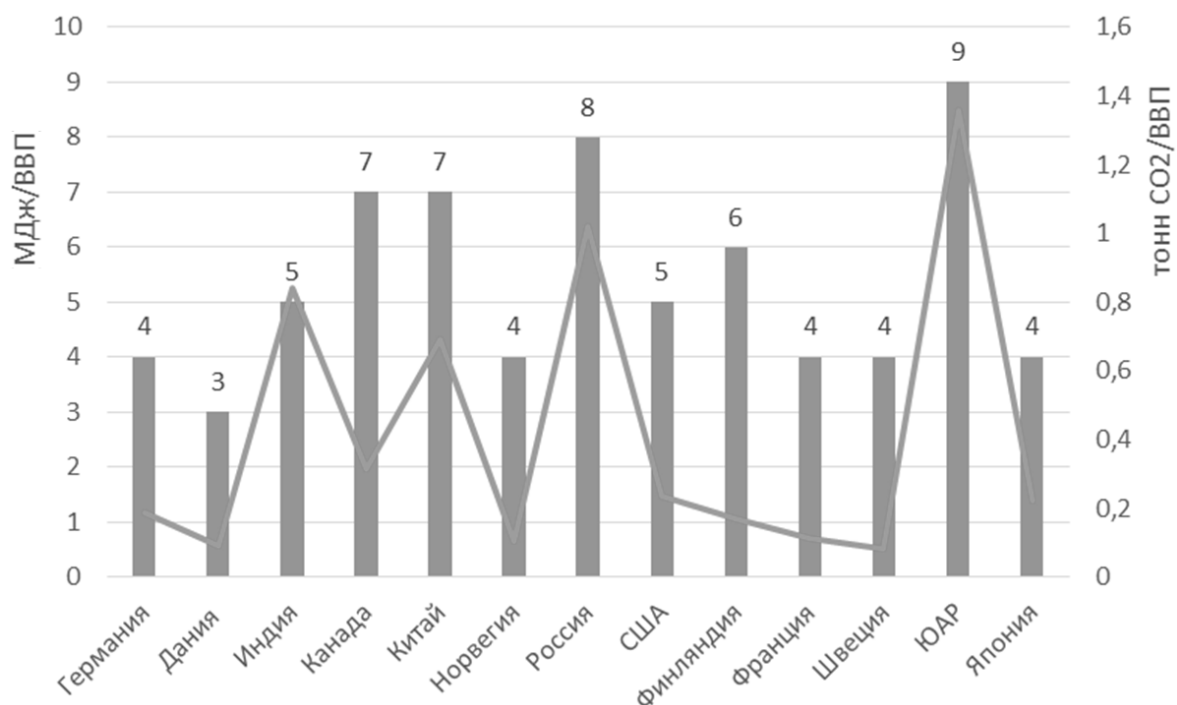
Source: Authoring, based on the Rosstat data

Рисунок 2

Энергоемкость (МДж/ВВП в текущих ценах, долл. США – левая шкала) и углеродоемкость (тыс. т выбросов CO₂/ВВП в 2011 г. – правая шкала) различных стран в сравнении с Россией

Figure 2

Energy intensity (MJ/GDP in current prices in US dollars – left scale) and carbon intensity (thousand metric tons of CO₂ emissions/GDP in 2011 – right scale) in different countries as compared to Russia



Источник: авторская разработка

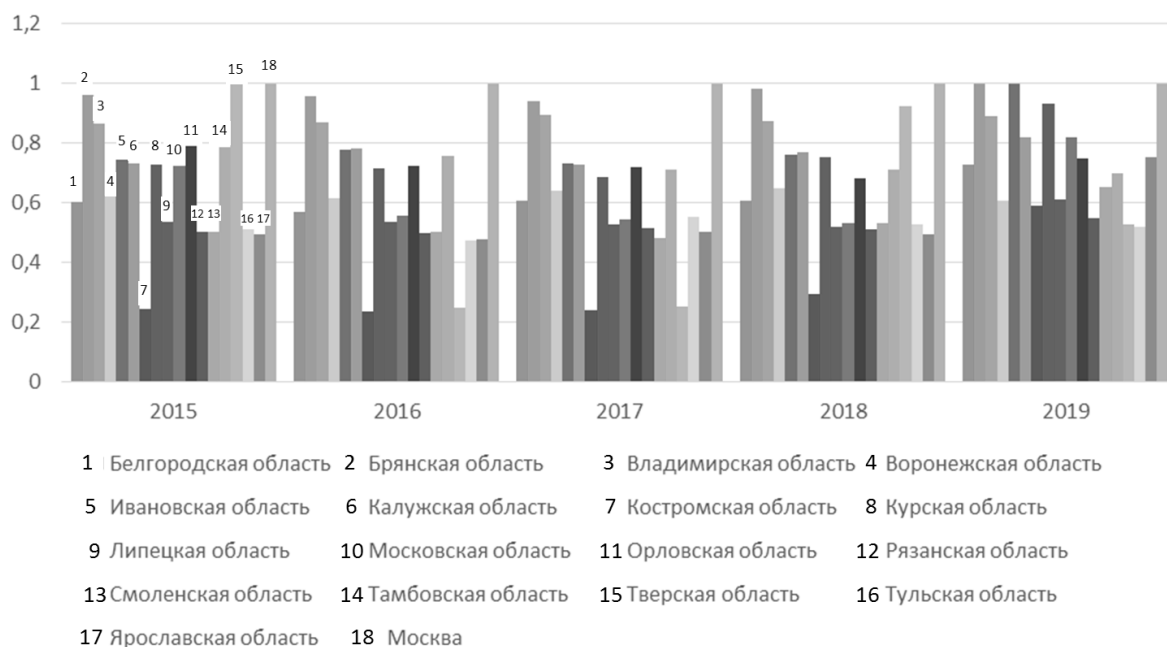
Source: Authoring

Рисунок 3

Эко-эффективность регионов Центрального федерального округа в 2015–2019 гг.

Figure 3

Eco-efficiency of regions of the Central Federal District in 2015–2019



Источник: авторская разработка

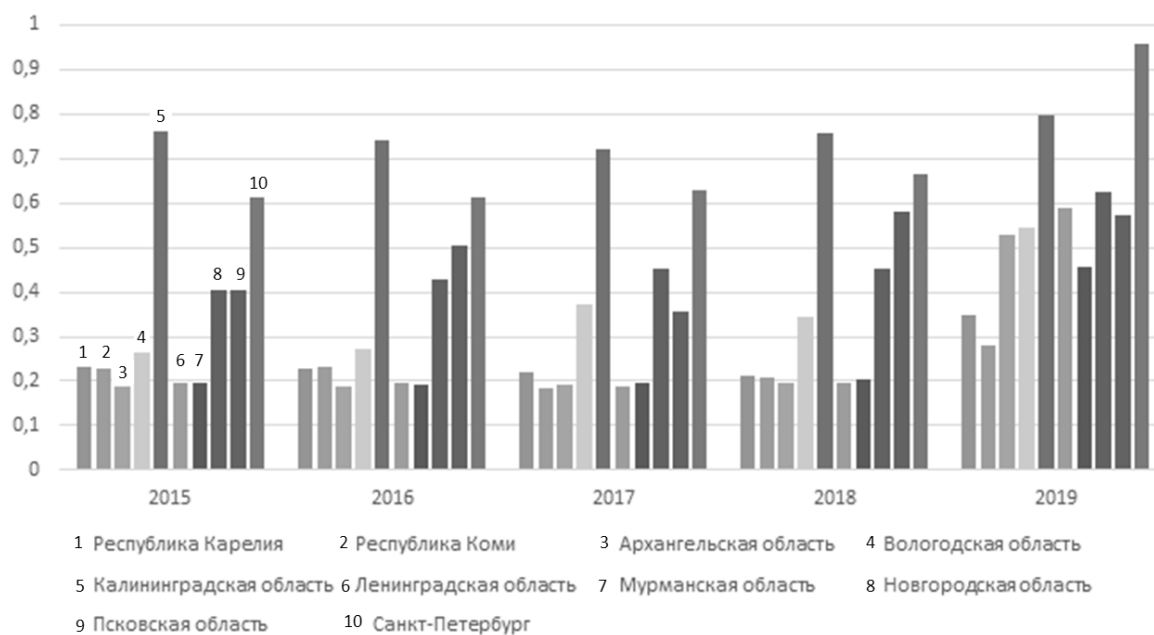
Source: Authoring

Рисунок 4

Эко-эффективность регионов Северо-Западного федерального округа в 2015–2019 гг.

Figure 4

Eco-efficiency of regions of the Northwestern Federal District in 2015–2019



Источник: авторская разработка

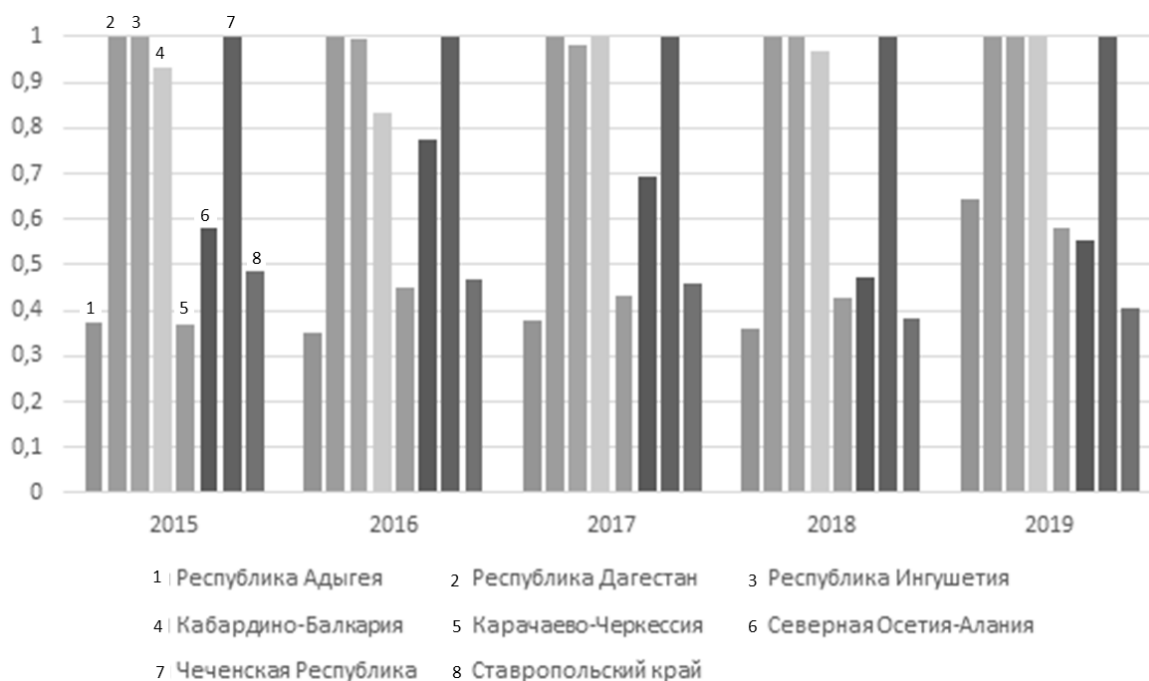
Source: Authoring

Рисунок 5

Эко-эффективность регионов Северо-Кавказского федерального округа в 2015–2019 гг.

Figure 5

Eco-efficiency of regions of the North Caucasian Federal District in 2015–2019



Источник: авторская разработка

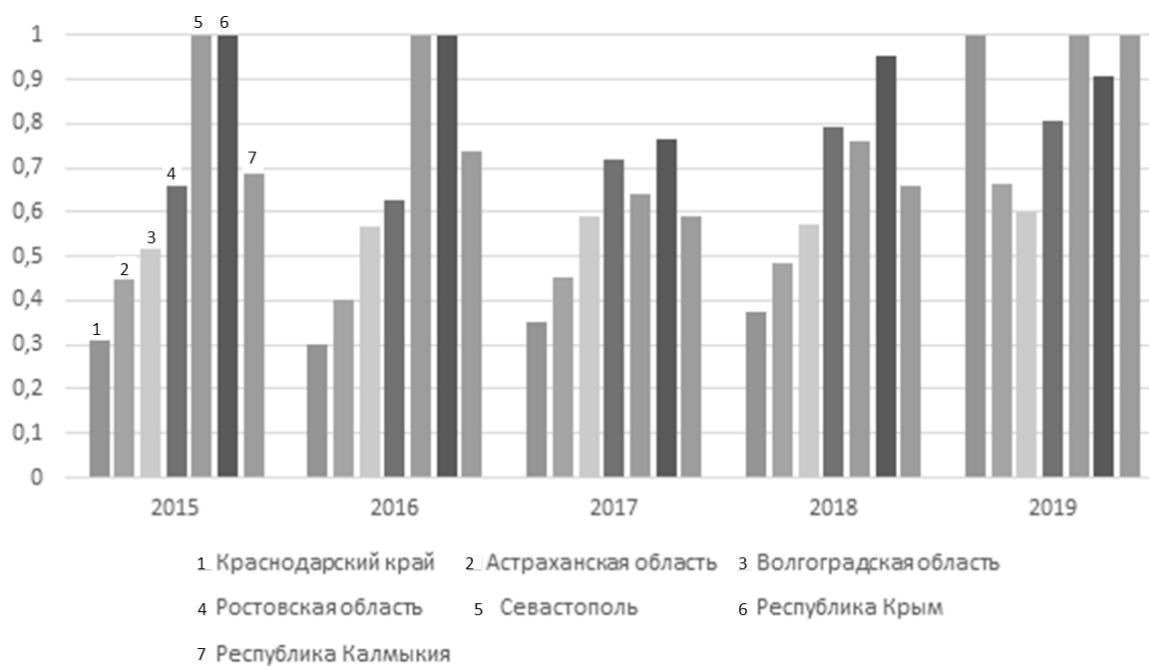
Source: Authoring

Рисунок 6

Эко-эффективность регионов Южного федерального округа в 2015–2019 гг.

Figure 6

Eco-efficiency of regions of the Southern Federal District in 2015–2019



Источник: авторская разработка

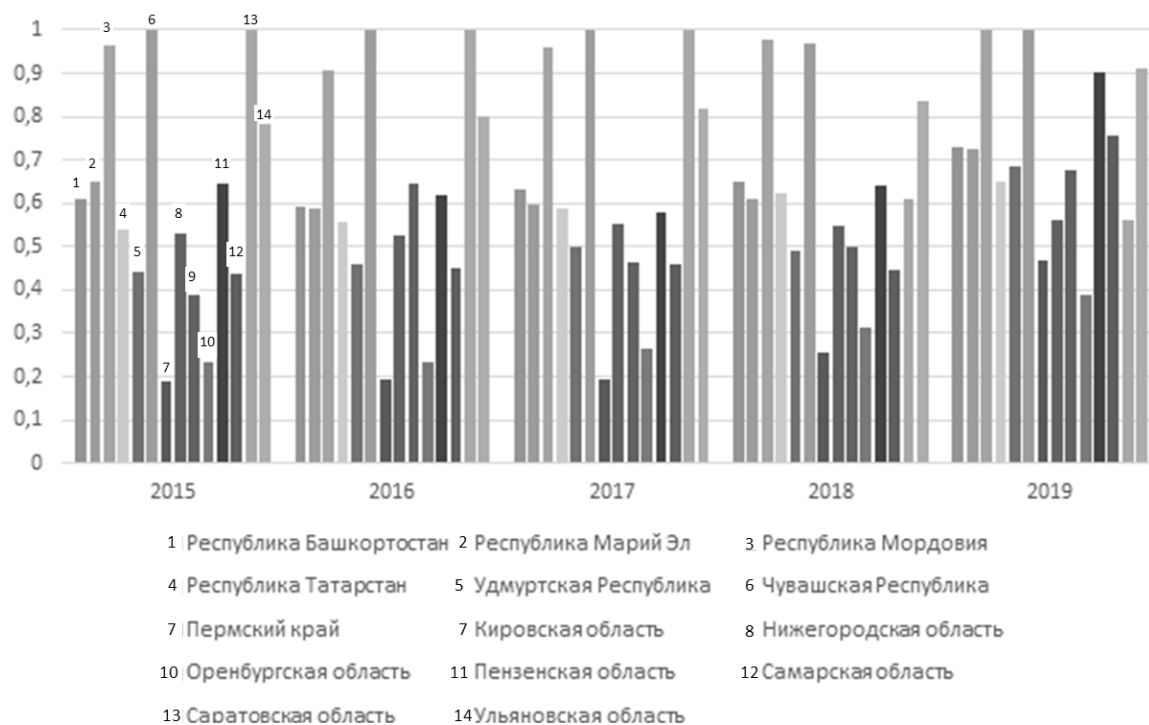
Source: Authoring

Рисунок 7

Эко-эффективность регионов Приволжского федерального округа в 2015–2019 гг.

Figure 7

Eco-efficiency of regions of the Volga Federal District in 2015–2019



Источник: авторская разработка

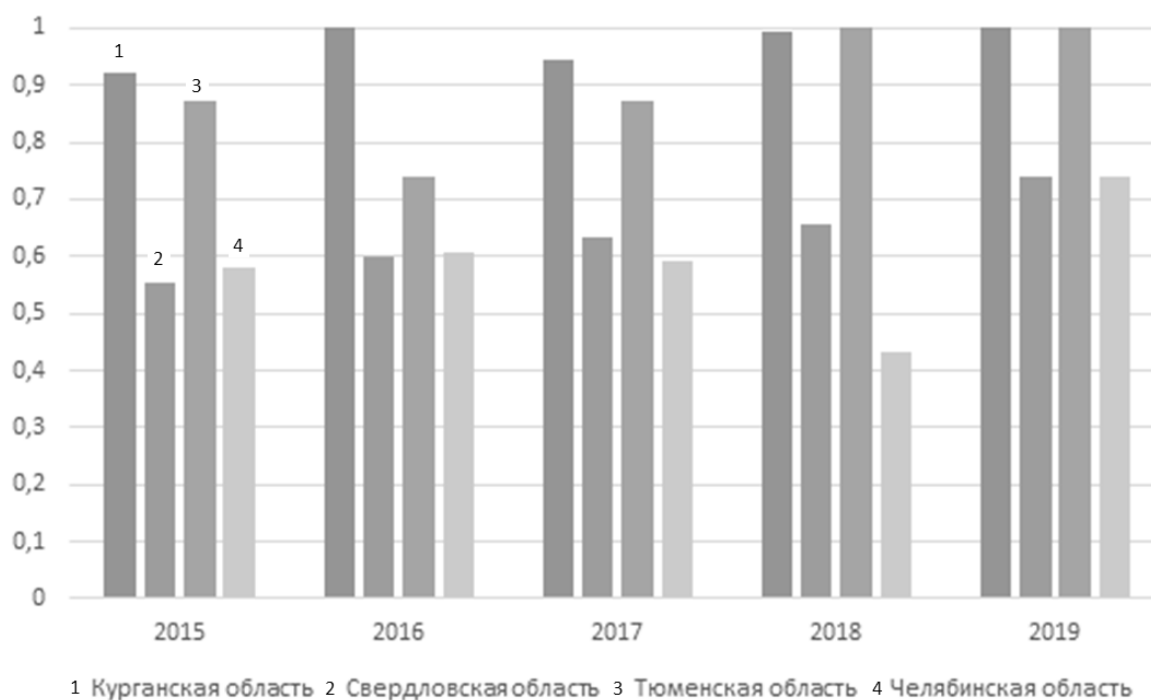
Source: Authoring

Рисунок 8

Эко-эффективность регионов Уральского федерального округа в 2015–2019 гг.

Figure 8

Eco-efficiency of regions of the Ural Federal District in 2015–2019



Источник: авторская разработка

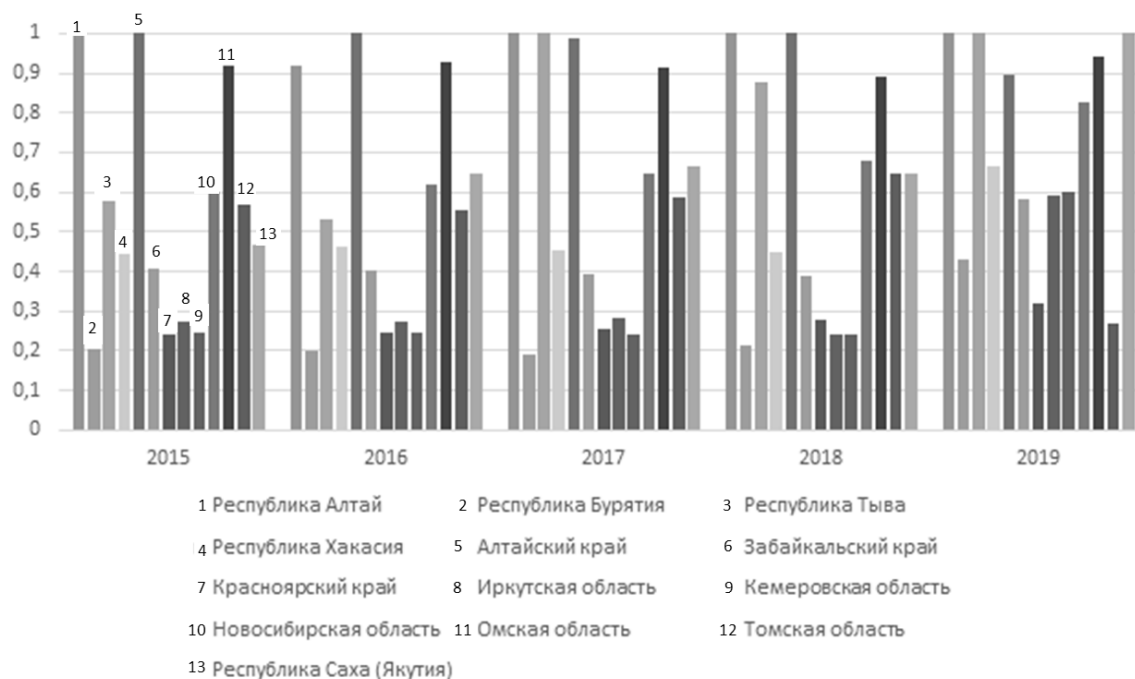
Source: Authoring

Рисунок 9

Эко-эффективность регионов Сибирского федерального округа в 2015–2019 гг.

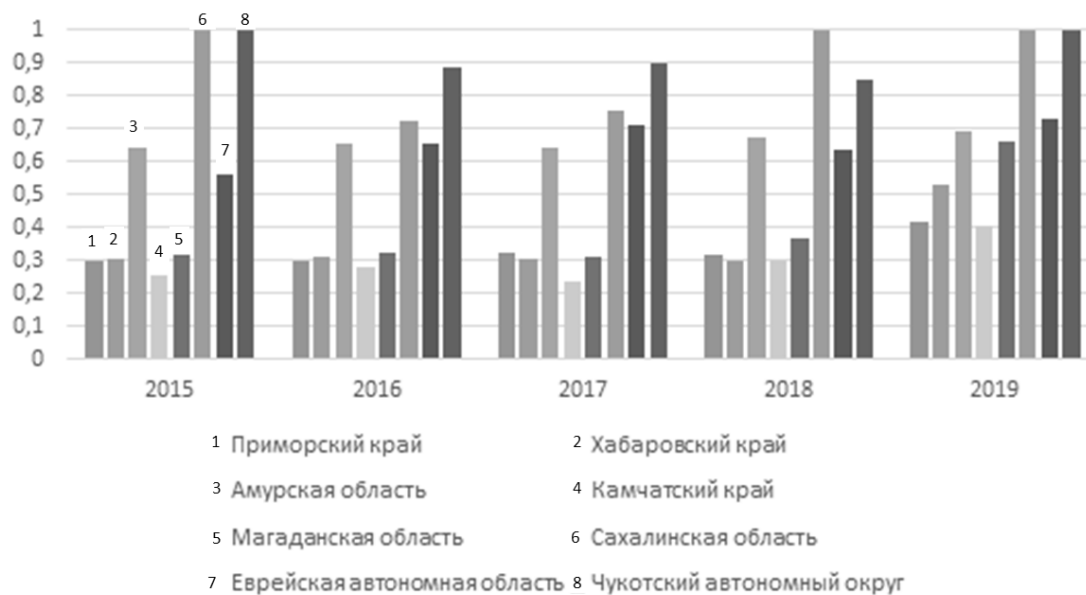
Figure 9

Eco-efficiency of regions of the Siberian Federal District in 2015–2019



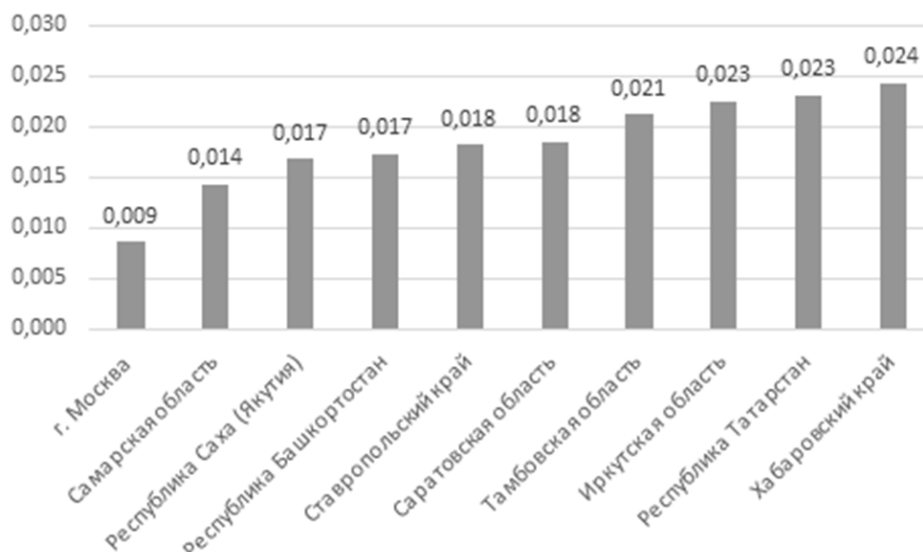
Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 10**Эко-эффективность регионов Дальневосточного федерального округа в 2015–2019 гг.****Figure 10****Eco-efficiency of regions of the Far Eastern Federal District in 2015–2019**

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 11**Регионы с наименьшими значениями эффективности региональных систем экологического менеджмента за период 2015–2019 гг.****Figure 11****Regions with the lowest value of efficiency of regional environmental management systems for 2015–2019**

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Иосифов В.В. Национальный проект «экология» в контексте формирования циркулярной экономики в России // *Экономический вестник ИПУ РАН*. 2020. № 1. С. 12–20. URL: <https://doi.org/10.25728/econbull.2020.1.2-iosifov>
2. Задорожная Л.Е. Мировая и отечественная практика безотходного производства посредством перехода к циркулярной экономике // *Экономический вестник ИПУ РАН*. 2020. № 1. С. 106–124.
URL: <https://doi.org/10.25728/econbull.2020.1.10-zadorozhnyaya>
3. Ратнер С.В., Алмастьян Н.А. Экологический менеджмент в Российской Федерации: проблемы и перспективы развития // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2014. № 17. С. 37–45.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskiy-menedzhment-v-rossiyskoy-federatsii-problemy-i-perspektivy-razvitiya>
4. Ковалев А.О. Институциональная структура регионального экологического менеджмента Российской Федерации // *Друкерровский вестник*. 2019. № 3. С. 351–368. URL: <https://doi.org/10.17213/2312-6469-2019-3-351-368>
5. Никулина С.И., Раков И.Д. Экологический менеджмент экономических субъектов как инструмент экологизации российской экономики // *Менеджмент в России и за рубежом*. 2019. № 1. С. 21–28. URL: <http://www.mevriz.ru/annotations/2019/1/>
6. Лимарев А., Касаткина Е. Развитие систем экологического менеджмента в России // *Управление качеством*. 2019. № 5. С. 48–55.
7. Екатеринин М.В. Тенденции в развитии международной стандартизации в области экологического менеджмента // *Методы менеджмента качества*. 2019. № 6. С. 16–18.
8. Ratner S., Ratner P. DEA-based Dynamic Assessment of Regional Environmental Efficiency. *Applied Computer Science*, 2017, vol. 13, no. 2, pp. 48–60.
URL: <https://doi.org/10.23743/acs-2017-13>
9. Ratner S., Zaretskaya M. Evaluating efficiency of Russian regional environmental management systems. *Quality: Access to Success*, 2020, vol. 21, no. 175, pp. 120–125.
URL: https://www.srac.ro/calitatea/en/arhiva/2020/QAS_Vol.21_No.175_Apr.2020.pdf
10. Матюшок В.М., Балашова С.А., Ревина С.Ю., Гомонов К.Г. Энергоэффективность и развитие умных сетей в регионах России // *Региональная экономика и управление: электронный научный журнал*. 2019. № 1.
URL: <https://eee-region.ru/article/5702/>

11. Гомонов К.Г., Сипакова П.О., Чапурная А.П. Внедрение микрогенерации и энергосберегающих технологий в рамках концепции зеленой экономики: зарубежный опыт и Россия // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер.: Экономика. 2019. Т. 27. № 3. С. 442–454.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-mikrogeneratsii-i-energoberegayuschih-tehnologiy-v-ramkah-kontseptsii-zelenoy-ekonomiki-zarubezhnyy-opyt-i-rossiya>
12. Архипов К.В., Архипова М.Ю. Современные тенденции развития медицинских биотехнологий // Экономический вестник ИПУ РАН. 2020. № 2. С. 3–20.
URL: <https://doi.org/10.25728/econbull.2020.2.1-archipov>
13. Рослякова Н.А. Государственное управление пространственным развитием на основе развития транспортной инфраструктуры: особенности взаимодействия транспортных и промышленных узлов в регионах // Друкеровский вестник. 2019. № 2. С. 294–303. URL: <http://drucker.npi-tu.ru/assets/files/dv-2019-2/30Roslyakova.pdf>
14. King A., Lenox M. Exploring the locus of profitable pollution reduction. *Management Science*, 2002, vol. 48, no. 2, pp. 289–299.
URL: <https://doi.org/10.1287/mnsc.48.2.289.258>
15. Porter M.E. America's Green Strategy. *Scientific American*, 1991, vol. 264, no. 4, p. 168.
16. Porter M.E., Claas van der Linde. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, vol. 9, no. 4, pp. 97–118. URL: <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>
17. Porter M.E., Claas van der Linde. Green and competitive: ending the stalemate. *Harvard Business Review*, 1995, vol. 73, no. 5, pp. 120–134.
URL: <https://hbr.org/1995/09/green-and-competitive-ending-the-stalemate>
18. Holm S.-O., Englund G. Increased ecoefficiency and gross rebound effect: Evidence from USA and six European countries 1960–2002. *Ecological Economics*, 2009, vol. 68, no. 3, pp. 879–887. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.006>
19. Jin-Xiao Chen, Youguo Zhang, Shilin Zheng. Ecoefficiency, environmental regulation opportunity costs, and interregional industrial transfers: Evidence from the Yangtze River Economic Belt in China. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 233, pp. 611–625. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.117>
20. Ning Zhang, Yongrok Choi. Environmental energy efficiency of China's regional economies: a non-oriented slacks-based measure analysis. *The Social Science Journal*, 2013, vol. 50, no. 2, pp. 225–234. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sosci.2013.01.003>

21. Jiarui Zhang, Weihua Zeng, Han Shi. Regional environmental efficiency in China: analysis based on a regional slack-based measure with environmental undesirable outputs. *Ecological Indicators*, 2016, vol. 71, pp. 218–228.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.040>
22. Jianhuan Huang, Jiejun Xia, Yantuan Yu, Ning Zhang. Composite eco-efficiency indicators for China based on data envelopment analysis. *Ecological Indicators*, 2018, vol. 85, pp. 674–697. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.040>
23. Burnett R.D., Hansen D.R. Ecoefficiency: Defining a role for environmental cost management. *Accounting, Organizations and Society*, 2008, vol. 33, no. 6, pp. 551–581. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aos.2007.06.002>
24. Ratner S. Dynamic Models of Environmental Data Envelopment Analysis with Stock and Flow Variables. *Automation and Remote Control*, 2020, vol. 81, no. 7, pp. 1330–1344. URL: <https://doi.org/10.1134/S0005117920070139>
25. Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W. Some models for estimating technical and scale inefficiency in data envelopment analysis. *Management Science*, 1984, vol. 30, no. 9, pp. 1078–1092. URL: <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
26. Emrouznejad A., Guo-liang Yang. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2018, vol. 61, pp. 4–8. URL: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>
27. Ruiyue Lin, Wei Yang, Huiling Huang. A modified slacks-based super-efficiency measure in the presence of negative data. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, vol. 135, pp. 39–52. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.05.030>
28. Кривоножко В.Е., Форсунд Ф.Р., Лычев А.В. Выявление подозрительных эффективных объектов в методологии анализа среды функционирования // Доклады Академии наук. 2013. Т. 453. № 2. С. 142–146.
URL: <https://doi.org/10.7868/S0869565213320078>

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

ASSESSING THE REGIONAL ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM'S EFFICIENCY BASED ON DATA ENVELOPMENT MODELS

Svetlana V. RATNER ^{a,*},

Andrei O. KOVALEV ^b

^a V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation
lanarat@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3485-5595>

^b V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation
andreykovalev193@gmail.com
ORCID: not available

* Corresponding author

Article history:

Article No. 245/2021
Received 29 April 2021
Received in revised form
10 May 2021
Accepted 24 May 2021
Available online
29 June 2021

JEL classification: C67,
Q58

Keywords: efficiency,
environmental
management system, Data
Envelopment Analysis,
dynamic task

Abstract

Subject. The article addresses the eco-efficiency of regional economy.

Objectives. The purpose is to design a methodology for assessing the comparative effectiveness of regional environmental management systems, taking into account the significant heterogeneity of regions in terms of eco-efficiency; develop approaches to assessing the eco-efficiency of regional economic systems; integrate these approaches into a single methodology.

Methods. The study employs general scientific research methods.

Results. The developed approach involves simultaneous solution of two tasks in the data envelopment analysis; one of them is formulated to assess the eco-efficiency of region's economy, and the other – to assess the value for money, aimed at protecting the environment in the region. The solution of these two problems enables to receive a large amount of data that can be used in designing strategies for regional development.

Conclusions. The paper offers a new approach to solving the problems of comparative assessment of the effectiveness of regional environmental management systems, considering the structural heterogeneity of regional economies. The findings can be used to elaborate measures to encourage the activities of regional authorities in the field of environmental management and increase their responsibility for the effectiveness of environmental measures.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2021

Please cite this article as: Ratner S.V., Kovalev A.O. Assessing the Regional Environmental Management System's Efficiency Based on Data Envelopment Models. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2021, vol. 20, iss. 6, pp. 1014–1042.
<https://doi.org/10.24891/ea.20.6.1014>

References

1. Iosifov V.V. [National Project "Ecology" in the Context of Formation of Circular Economy in Russia]. *Ekonomicheskii vestnik IPU RAN = Economic Bulletin of ICS*

- RAS, 2020, vol. 1, no. 1, pp. 12–20. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.25728/econbull.2020.1.2-iosifov>
2. Zadorozhnyaya L.E. [World and domestic practice of non-waste production by transition to the circular economy]. *Ekonomicheskii vestnik IPU RAN = Economic Bulletin of ICS RAS*, 2020, vol. 1, no. 1, pp. 106–124. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.25728/econbull.2020.1.10-zadorozhnyaya>
 3. Ratner S.V., Almastyan N.A. [Environmental management in the Russian Federation: Problems and prospects of development]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2014, no. 17, pp. 37–45.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskii-menedzhment-v-rossiyskoy-federatsii-problemy-i-perspektivy-razvitiya> (In Russ.)
 4. Kovalev A.O. [Institutional Structure of the Regional Ecological Management of the Russian Federation]. *Drukerovskij Vestnik*, 2019, no. 3, pp. 351–368. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.17213/2312-6469-2019-3-351-368>
 5. Nikulina S.I., Rakov I.D. [Environmental management of business entities as an instrument of greening the Russian economy]. *Menedzhment v Rossii i za rubezhom = Management in Russia and Abroad*, 2019, no. 1, pp. 21–28.
URL: <http://www.mevriz.ru/annotations/2019/1/> (In Russ.)
 6. Limarev A., Kasatkina E. [Development of environmental management systems in Russia]. *Upravlenie kachestvom = Quality Management*, 2019, no. 5, pp. 48–55. (In Russ.)
 7. Ekaterinin M.V. [Development of the international standardization in the field of environmental management]. *Metody menedzhmenta kachestva = Methods of Quality Management*, 2019, no. 6, pp. 16–18. (In Russ.)
 8. Ratner S., Ratner P. DEA-based Dynamic Assessment of Regional Environmental Efficiency. *Applied Computer Science*, 2017, vol. 13, no. 2, pp. 48–60.
URL: <https://doi.org/10.23743/acs-2017-13>
 9. Ratner S., Zaretskaya M. Evaluating efficiency of Russian regional environmental management systems. *Quality: Access to Success*, 2020, vol. 21, no. 175, pp. 120–125.
URL: https://www.srac.ro/calitatea/en/arhiva/2020/QAS_Vol.21_No.175_Apr.2020.pdf
 10. Matyushok V.M., Balashova S.A., Revinova S.Yu., Gomonov K.G. [Energy efficiency and the development of smart grids in the Russian regions]. *Regional'naya ekonomika i upravlenie: elektronnyi nauchnyi zhurnal*, 2019, no. 1. (In Russ.)
URL: <https://eee-region.ru/article/5702/>
 11. Gomonov K.G., Sipakova P.O., Chapurnaya A.P. [Introduction of microgeneration and energy-saving technologies within the concept of green economy: Foreign experience

- and Russia]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Ser.: Ekonomika = Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series Economics*, 2019, vol. 27, no. 3, pp. 442–454. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-mikrogeneratsii-i-energoberegayuschih-tehnologiy-v-ramkah-kontseptsii-zelenoy-ekonomiki-zarubezhnyy-opyt-i-rossiya> (In Russ.)
12. Arkhipov K.V., Arkhipova M.Yu. [Modern trends of development of medical biotechnologies]. *Ekonomicheskii vestnik IPU RAN = Economic Bulletin of ICS RAS*, 2020, no. 2, pp. 3–20. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.25728/econbull.2020.2.1-archipov>
13. Roslyakova N.A. [Public administration of spatial development based on the development of transport infrastructure: Features of interaction between transport and industrial hubs in the regions]. *Drukerovskij Vestnik*, 2019, no. 2, pp. 294–303.
URL: <http://drucker.npi-tu.ru/assets/files/dv-2019-2/30Roslyakova.pdf> (In Russ.)
14. King A., Lenox M. Exploring the locus of profitable pollution reduction. *Management Science*, 2002, vol. 48, iss. 2, pp. 289–299.
URL: <https://doi.org/10.1287/mnsc.48.2.289.258>
15. Porter M.E. America's Green Strategy. *Scientific American*, 1991, vol. 264, no. 4, p. 168.
16. Porter M.E., Claas van der Linde. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, vol. 9, no. 4, pp. 97–118. URL: <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>
17. Porter M.E., Claas van der Linde. Green and Competitive: Ending the Stalemate. *Harvard Business Review*, 1995, vol. 73, no. 5, pp. 120–134.
URL: <https://hbr.org/1995/09/green-and-competitive-ending-the-stalemate>
18. Holm S.-O., Englund G. Increased ecoefficiency and gross rebound effect: Evidence from USA and six European countries 1960–2002. *Ecological Economics*, 2009, vol. 68, no. 3, pp. 879–887. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.006>
19. Jin-Xiao Chen, Youguo Zhang, Shilin Zheng. Ecoefficiency, environmental regulation opportunity costs, and interregional industrial transfers: Evidence from the Yangtze River Economic Belt in China. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 233, pp. 611–625. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.117>
20. Ning Zhang, Yongrok Choi. Environmental energy efficiency of China's regional economies: A non-oriented slacks-based measure analysis. *The Social Science Journal*, 2013, vol. 50, no. 2, pp. 225–234. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sosci.2013.01.003>
21. Jiarui Zhang, Weihua Zeng, Han Shi. Regional environmental efficiency in China: Analysis based on a regional slack-based measure with environmental undesirable

- outputs. *Ecological Indicators*, 2016, vol. 71, pp. 218–228.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.040>
22. Jianhuan Huang, Jiejia Xia, Yantuan Yu, Ning Zhang. Composite eco-efficiency indicators for China based on data envelopment analysis. *Ecological Indicators*, 2018, vol. 85, pp. 674–697. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.040>
23. Burnett R.D., Hansen D.R. Ecoefficiency: Defining a role for environmental cost management. *Accounting, Organizations and Society*, 2008, vol. 33, no. 6, pp. 551–581. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aos.2007.06.002>
24. Ratner S. Dynamic Models of Environmental Data Envelopment Analysis with Stock and Flow Variables. *Automation and Remote Control*, 2020, vol. 81, no. 7, pp. 1330–1344. URL: <https://doi.org/10.1134/S0005117920070139>
25. Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W. Some models for estimating technical and scale inefficiency in data envelopment analysis. *Management Science*, 1984, vol. 30, no. 9, pp. 1078–1092. URL: <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
26. Emrouznejad A., Guo-liang Yang. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2018, vol. 61, pp. 4–8. URL: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>
27. Ruiyue Lin, Wei Yang, Huiling Huang. A modified slacks-based super-efficiency measure in the presence of negative data. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, vol. 135, pp. 39–52. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.05.030>
28. Krivonozhko V.E., Forsund F.R., Lychev A.V. [Identification of suspicious effective objects in the data envelopment analysis methodology]. *Doklady Akademii nauk*, 2013, vol. 453, no. 2, pp. 142–146. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.7868/S0869565213320078>

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.