pISSN 2073-4484
eISSN 2311-8768

Математический анализ и моделирование в экономике

ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ*

Светлана Валерьевна РАТНЕР

доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник
лаборатории экономической динамики и управления инновациями,
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН),
Москва, Российская Федерация
lanarat@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3485-5595
SPIN-код: 7840-4282

История статьи:
Рег. № 434/2020
Получена 27.07.2020
Получена в доработанном виде 13.08.2020
Одобрена 29.08.2020
Доступна онлайн 13.11.2020

УДК 338.2
JEL: C67, Q58

Аннотация

Предмет. Циркулярная экономика сегодня рассматривается как новая модель экономического роста, позволяющая преодолеть ресурсные ограничения. Несмотря на общее понимание того, что основным стимулом к переходу к циркулярным моделям производства и потребления являются экологические проблемы, глубинные факторы развития данной экономической модели в современной литературе до конца не изучены. Доступны ли циркулярные модели производства только высокоразвитым в технологическом плане и, соответственно, богатым странам или, наоборот, бедность и тотальный недостаток ресурсов являются лучшими стимулами к развитию циркулярной экономики?

Цели. Исследование влияния таких факторов, как общее экономическое и инновационное развитие страны, а также активность влияния государства в инновационной сфере на формирование и развитие циркулярных моделей экономического роста.

Методология. Исследование проведено методами эконометрического моделирования, в качестве информационной базы использованы данные Евростата.

Результаты. Проведенное исследование показало, что высокий уровень экономического развития страны положительным образом влияет на ресурсоэффективность экономики, однако более развитые страны производят больше отходов в секторе потребления. Динамика роста уровня переработки отходов производства и потребления выше в менее развитых странах. Страны с высоким уровнем расходов на инновационную деятельность демонстрируют более высокий уровень развития технологий переработки муниципальных и индустриальных отходов, а также использования вторичных материалов. Развитие системы переработки электронных отходов существенно зависит от государственного стимулирования инноваций в данной сфере.

Выводы. Полученные результаты могут быть использованы в практике разработки государственных федеральных и региональных программ развития системы переработки отходов потребления и производства в России. В частности, одной из первостепенных мер по стимулированию циркулярной экономики в России может стать развитие социального предпринимательства и бизнес-инициатив на основе традиционных паттернов ресурсосберегающего потребительского поведения.

Ключевые слова:
циркулярная экономика, эконометрическое моделирование, экономическое развитие, инновационное развитие, государственные расходы

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2020

Для цитирования: Ратнер С.В. Факторы развития циркулярной экономики // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 430 – 447.
https://doi.org/10.24891/fa.13.4.430

Одной из целей устойчивого развития является обеспечение перехода всей мировой экономической системы к рациональным моделям потребления и производства, исключающим избыточное потребление первичных природных ресурсов и способствующим уменьшению объема образования отходов [1]. С решением этих задач тесно связано понятие циклической экономики, или экономики замкнутого цикла. Появившись сравнительно недавно в мировой научной литературе как набор фрагментарных идей и моделей, порожденных практикой [2], в настоящее время концепция циркулярной экономики приобретает все более ярко выраженные черты новой теории экономического роста, отделенного от неизбежного в традиционных моделях сопутствующего потребления первичных ресурсов – в первую очередь, земельных и энергетических.

В основе концепции циркулярной экономики лежит понятие циркуляции первичных природных ресурсов, когда все извлеченные из экосистемы ресурсы используются неоднократно по схеме «добывай – производи – используй – выбрасывай», а многократно, вновь и вновь возвращаясь к начальной точке жизненного цикла. Такая циркуляция возможна за счет повторного использования продукции, ее ремонта, повторного использования ее отдельных элементов в производстве новых видов продукции и, наконец, глубокой переработки образовавшихся отходов [3, 4]. В отличие от концепции «зеленой» экономики, предполагающей замену невозобновляемых природных ресурсов возобновляемыми [5, 6], в циркулярной экономике абсолютно все ресурсы, в том числе возобновляемые, рассматриваются как ценные и требующие минимизации их однократного хозяйственного использования. В частности, для энергетических ресурсов циркулярная экономика предусматривает каскадное использование и максимально энергоэффективное потребление [7, 8].

В настоящее время в мировой научной литературе активно дискутируются такие проблемы перехода к новой модели циркулярной экономики, как отсутствие действенных экономических стимулов, несовершенство нормативно-правовой и законодательной базы, недостаточный уровень развития технологий, а также сложности изменения традиционных паттернов потребительского поведения [9–11]. Также дискуссионным остается вопрос измерения масштаба развития циркулярной экономики, особенно на макроуровне [12]. Кроме того, несмотря на общее понимание, что основным стимулом к переходу к циркулярным моделям производства и потребления являются экологические проблемы [13], глубинные факторы развития данной экономической модели так до конца и не изучены. Доступны ли циркулярные модели производства только высокоразвитым в технологическом плане и, соответственно, богатым странам или, наоборот, бедность и тотальный недостаток ресурсов являются лучшим стимулом к развитию циркулярной экономики? Попытаемся ответить на данный вопрос.

[*] Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-010-00383 «Модели и механизмы перехода к циркулярной экономике в условиях институциональных ограничений».

Для оценки уровня развития циркулярной экономики в данном случае выборочно используются показатели мониторинга циркулярных процессов, принятые Европейской Комиссией[1]. При выборе показателей для анализа основными критериями были следующие:

- универсальность (пригодность для оценки развития циркулярной экономики не только в рамках Евросоюза);
- информативность (исключались из рассмотрения дублирующие или функционально связанные друг с другом показатели);
- отношение к типу «выходы» (не рассматривались показатели «входа», то есть финансовые и интеллектуальные затраты на создание циркулярных технологий и процессов).

Выбранные показатели анализировались сначала точечно, то есть в определенный год (как правило, по последним имеющимся в открытом доступе статистическим данным), а затем интервально – как разница за трех- или четырехлетный период. Такая величина временного интервала была выбрана по причине того, что в 2015 г. Еврокомиссия приняла план по развитию циркулярной экономики (An EU Action Plan for the Circular Economy), состоящий их 54 конкретных мер по формированию институциональной среды для развития циркулярной экономики в Европе [15, 16]. Три года спустя (в марте 2019 г.) Еврокомиссия отчиталась об успешном выполнении всех 54 заявленных мер, что можно рассматривать как свидетельство зрелости институциональной среды и основных стимулирующих механизмов. Таким образом, точечные показатели можно рассматривать как показатели уровня развития циркулярной экономики на определенный момент времени, а их разницу – как показатели динамики развития циркулярной экономики за исследуемый период. Кроме того, данную динамику можно соотнести с действием стимулирующих мер и, таким образом, косвенно оценить их результативность. Все анализируемые показатели развития циркулярной экономики представлены в *табл. 1*.

Как факторы, которые могут влиять на развитие циркулярной экономики рассматривались:

- ВВП на душу населения (как общий показатель развития экономики страны);
- затраты на исследования и разработки в % от ВВП (как общий показатель развития инновационной активности);
- государственные расходы на исследования и разработки в % от всего объема государственных расходов (как показатель уровня поддержки инновационного развития государством).

Для проверки гипотез о влиянии данных факторов на уровень и динамику развития циркулярной экономики на выборке из 30–35 европейских стран (в зависимости от наличия статистических данных по той или иной стране) на первом этапе

[1] Which indicators are used to monitor the progress towards a circular economy?
URL: https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators

исследования были построены корреляционные поля. Наиболее характерные корреляционные поля, свидетельствующие о возможной линейной зависимости между исследуемыми показателями, представлены на *рис. 1–4*.

Заметим, что ни одно из построенных корреляционных полей не указывает на возможную параболическую зависимость исследуемых показателей, характерную для популярной в экономике природопользования экологической кривой Кузнеца [17–19]. Некоторые корреляционные поля имеют более выраженную эллипсоидную форму (как на *рис. 1, 3*), а некоторые – менее. Поэтому вторым этапом исследования стал расчет коэффициентов линейной корреляции Пирсона между предполагаемыми факторами развития циркулярной экономики и выбранными показателями уровня и динамики ее развития. Результаты корреляционного анализа представлены в *табл. 2*.

Как видно, некоторые факторы и показатели уровня/динамики развития циркулярной экономики связаны между собой достаточно сильными корреляционными зависимостями (*табл. 2*), что позволяет приступить к построению линейных регрессионных моделей.

Статистически значимые результаты построения моделей линейной регрессии между факторами и показателями уровня/динамики развития циркулярной экономики представлены в *табл. 3–5*.

Среди всех статистически значимых моделей линейной зависимости уровня и динамики развития циркулярной экономики от ВВП на душу населения наиболее высокую объясняющую способность (коэффициент детерминации) имеют модели, описывающие влияние ВВП на душу населения на объем образования муниципальных отходов (твердых бытовых) на душу населения *MW* и на объем образования отходов (за исключением основных минеральных отходов) на единицу ВВП *IW*. Модели влияния ВВП на душу населения на динамику изменения объема образования отходов (за исключением основных минеральных отходов) на единицу ВВП Δ*IW*, на динамику уровня переработки муниципальных (твердых бытовых отходов, %) Δ*RMW* и на уровень переработки всех отходов (за исключением основных минеральных отходов, %) *RIW* имеют низкую объясняющую способность, тем не менее являются статистически значимыми.

Интерпретируя построенные модели, можно сказать, что чем выше ВВП на душу населения в стране или, другими словами, чем богаче страна, тем выше объем образования твердых бытовых отходов на душу населения. Для отходообразования в промышленности и сельском хозяйстве (объема образования отходов на единицу ВВП) эта зависимость обратная: чем богаче страна, тем меньше отходов образуется в ней на единицу ВВП. Таким образом, в более экономически развитых европейских странах сектор производства является более циркулярным, чем сектор потребления.

Также уровень развития экономики положительно связан с уровнем переработки муниципальных отходов: чем богаче страна, тем выше уровень переработки. Однако для динамики развития уровня переработки наблюдается обратная зависимость: чем более экономически развита страна, тем медленнее возрастает в ней уровень

переработки муниципальных отходов. Показатели повышения ресурсоэффективности экономики (разница в уровне переработки индустриальных отходов, Δ*IW*) также возрастают быстрее в менее развитых странах.

Построенная модель влияния ВВП на душу населения на уровень использования переработанных материалов имеет самое низкое статистическое качество среди всех построенных. Тем не менее она все равно удовлетворяет критерию Фишера, а коэффициент регрессии удовлетворяет критерию Стьюдента на уровне $p = 0{,}1$. Интерпретация построенной модели следующая: чем выше уровень экономического развития страны, тем выше уровень использования переработанных материалов.

Среди статистически значимых моделей линейной зависимости уровня и динамики развития циркулярной экономики от затрат на исследования и инновации наиболее высокую объясняющую способность имеет модель, описывающая влияние затрат на исследования и инновации на уровень переработки муниципальных отходов *RMW*, а наименьшую – модель, описывающая влияние упомянутого фактора на уровень использования переработанных материалов *UCM*. Коэффициенты регрессии и свободные члены с указанием уровня их статистической значимости, а также коэффициенты детерминации построенных моделей представлены в *табл. 4*.

Таким образом, можно утверждать, что рост затрат на исследования и инновации (в % от ВВП страны) или, другими словами, уровень инновационного развития страны положительно влияет на развитие переработки муниципальных и индустриальных отходов, а также на использование вторичных (переработанных материалов). Статистически значимого влияния затрат на исследования и инновации на другие показатели уровня и динамики развития циркулярной экономики не выявлено.

Среди статистически значимых моделей линейной зависимости уровня и динамики развития циркулярной экономики от государственных расходов на исследования и инновации наиболее высокую объясняющую способность имеет модель зависимости динамики уровня развития переработки всех отходов Δ*RIW* от показателя госрасходов на исследования и инновации. Однако знак коэффициента регрессии в данной модели является отрицательным, что говорит о том, что увеличение государственной поддержки научной и инновационной деятельности не приводит к развитию технологий переработки. Исключение составляют электронные отходы: как показывает знак коэффициента регрессии в построенных моделях для показателей уровня *REW* и динамики переработки электронных отходов Δ*REW*, увеличение государственных расходов на исследования и инновации оказывает положительное влияние на данные показатели (*табл. 5*).

Проведенное эконометрическое исследование позволяет сделать следующие выводы: уровень экономического развития страны (ВВП на душу населения) положительным образом влияет на ресурсоэффективность ее экономики, измеряемую как уровень образования отходов на единицу ВВП, уровень переработки муниципальных отходов и уровень использования вторичных материалов. Однако богатые страны производят больше отходов в секторе потребления. Динамика роста уровня переработки в менее экономически развитых

странах более высокая, что может объясняться S-образным (или логарифмическим) законом развития технологий переработки: каждая последующая ступень развития технологии переработки требует все большего объема финансовых и интеллектуальных затрат [20, 21].

Страны с высоким уровнем расходов на инновационную деятельность демонстрируют более высокий уровень развития технологий переработки муниципальных и индустриальных отходов, а также более высокий уровень использования вторичных материалов. Вместе с предыдущим выводом данное наблюдение позволяет утверждать, что ресурсоэффективность экономики напрямую связана с уровнем технологического развития страны. Полномасштабное развитие и внедрение циркулярных технологий в экономику, в том числе повторного использования материалов, требует существенных инвестиций и высокого уровня инновационного развития. В то же время в секторе потребления товаров и услуг населением менее экономически развитые страны демонстрируют более развитые паттерны потребительского поведения и более высокий уровень развития циркулярной экономики.

Развитие системы переработки электронных отходов существенно зависит от государственного стимулирования инноваций в данной сфере. В других секторах экономики более эффективными стимулами развития технологий переработки являются различные бизнес-инициативы.

Следует отметить, что проведенное исследование имеет ряд ограничений, которые обязывают к некоторой осторожности в выводах и рекомендациях. Во-первых, интерпретируемые регрессионные модели построены на данных по странам Евросоюза, которые уже достаточно далеко продвинулись по пути построения циркулярной экономики и в своем большинстве являются странами с высоким уровнем институционального и социально-экономического развития. Так, еще в 2008 г. Европейским советом была утверждена основная рамочная Директива об отходах 2008/98/ЕС, которая устанавливает иерархичные принципы обращения с отходами. Данные принципы должны быть взяты за основу при разработке всеми странами ЕС стратегий по управлению отходами. В некоторых странах, например, в Германии, базовые циркулярные принципы были законодательно заложены в систему обращения с отходами еще раньше – в начале 1990-х годов. Поэтому выявленные закономерности развития циркулярной экономики, характерные для стран ЕС, могут терять свою актуальность для стран с другими системами институтов и более низким уровнем общего социально-экономического развития.

Во-вторых, при исследовании динамики развития циркулярной экономики выбранный трехлетний период наблюдений может быть слишком коротким, чтобы отразить все изменения, происходящие в данной сфере. Так, разработка новых технологий использования вторичных материалов, переработки электронных отходов является сложной научной задачей и может требовать более длительного временного интервала, чтобы проследить эффекты от внедрения. Поэтому ряд моделей, в которых объясняющей переменной выбраны затраты на исследования и инновации, могли оказаться не статистически значимыми именно по причине недостаточной длительности периода наблюдения.

Несмотря на упомянутые ограничения, основные результаты исследования не противоречат современной теории инновационного развития, а потому могут быть распространены и на другие страны, в том числе на Россию.

Наиболее значимым универсальным результатом практического характера, по нашему мнению, можно считать следующий: для стран со средним и низким уровнями экономического развития основным драйвером развития циркулярной экономики может стать сектор потребления. Поэтому те циркулярные паттерны потребительского поведения, которые в настоящее время формируются в основном из-за недостатка средств и ресурсов, должны быть тщательно изучены, внесены в реестр лучших практик циркулярной экономики и всячески поддержаны на уровне общественного сознания, государственных социальных и бизнес-инициатив. Такие паттерны также следует рассматривать как источники социальных инноваций, которые могут быть внедрены и в более экономически развитых странах после некоторой адаптации и популяризации, в том числе через систему среднего и высшего образования, социальную рекламу и социальное предпринимательство.

Еще одна важная практическая рекомендация, которая вытекает из результатов данного исследования и может быть использована при разработке государственных федеральных и региональных программ развития системы переработки отходов производства и потребления, – это необходимость государственного стимулирования (в том числе, прямого финансового) разработки и внедрения технологий переработки электронных отходов. Для развития системы переработки отходов других производств государственное участие требуется, в основном, только на уровне создания институциональных и экономических стимулирующих механизмов для развития бизнес-инициатив. В то же время для обеспечения ускоренного «догоняющего» характера развития технологий переработки отходов производства и потребления в менее экономически развитых странах необходимо предусмотреть институты, позволяющие осуществить беспрепятственный трансфер наилучших доступных технологий в данной сфере из более экономически развитых стран.

Помимо этих выводов качественного характера, как самостоятельный результат исследования также могут рассматриваться и построенные эконометрические модели. Данные модели могут использоваться для прогнозирования откликов на некоторые управляющие воздействия государства, например, увеличение доли переработки электронных отходов («отклик») на увеличение государственных затрат на исследования и разработки («управляющее воздействие»), а также прогнозирования отходообразования в секторе потребления при интенсификации экономического роста и повышении благосостояния страны.

Таблица 1
Показатели уровня и динамики развития циркулярной экономики

Table 1
The development of the circular economy: The level and trends

Показатель	**Обозначение (год/период)**
Уровень развития циркулярной экономики	
Объем образования муниципальных отходов (твердых бытовых) на душу населения, кг/чел.	*MW* (2018)
Уровень переработки муниципальных (твердых бытовых) отходов, %	*RMW* (2018)
Уровень переработки электронных отходов, %	*REW* (2017)
Уровень использования переработанных материалов, %	*UCM* (2017)
Объем образования отходов (за исключением основных минеральных отходов) на единицу ВВП, кг/тыс. евро	*IW* (2016)
Уровень переработки всех отходов (за исключением основных минеральных отходов), %	*RIW* (2016)
Уровень переработки отходов строительной отрасли, %	*RCW* (2016)
Динамика развития циркулярной экономики	
Разница между текущим и базовым объемом образования муниципальных (твердых бытовых) отходов на душу населения, кг/тыс. евро	Δ*MW* (2015–2018)
Разница между текущим и базовым уровнем переработки муниципальных (твердых бытовых) отходов, %	Δ*RMW* (2015–2018)
Разница между текущим и базовым уровнем переработки электронных отходов, %	Δ*REW* (2015–2017)
Разница между текущим и базовым уровнем использования переработанных материалов, %	Δ*UCM* (2015–2017)
Разница между текущим и базовым объемом образования отходов (за исключением основных минеральных отходов) на единицу ВВП	Δ*IW* (2014–2016)
Разница между текущим и базовым уровнем переработки всех отходов (за исключением основных минеральных отходов), %	Δ*RIW* (2014–2016)
Разница между текущим и базовым уровнем переработки отходов строительной отрасли, %	Δ*RCW* (2014–2016)

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 2
Корреляция (Пирсона) между показателями уровня/динамики развития циркулярной экономики и показателями экономического и инновационного развития страны

Table 2
The Pearson correlation coefficient between the level/dynamics of the circular economy development and the national economic and innovative development

Показатель	ВВП на душу населения	Затраты на исследования и разработки, % от ВВП	Государственные расходы на исследования и разработки, % от всех госрасходов
MW (2018)	0,6996	0,466	0,4985
RMW (2018)	0,4989	0,715	0,4753
REW (2017)	0,005	0,132	0,3568
UCM (2017)	0,3747	0,3559	0,3045
IW (2016)	–0,4089	–0,211	–0,0558
RIW (2016)	0,3364	0,3825	0,1409
RCW (2016)	–0,0094	–0,0206	–0,1139
Δ*MW* (2015–2018)	–0,2397	0,0177	–0,0987
Δ*RMW* (2015–2019)	–0,2822	–0,1709	–0,1723
Δ*REW* (2015–2017)	–0,0348	–0,011	0,3576
Δ*UCM* (2015–2017)	–0,0413	–0,1672	–0,1868
Δ*IW* (2014–2016)	–0,3157	–0,1283	–0,01
Δ*RIW* (2014–2016)	–0,245	–0,313	–0,4426
Δ*RCW* (2014–2016)	–0,1476	–0,1416	–0,1936

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 3
Модели линейной регрессии зависимости уровня и динамики развития циркулярной экономики от ВВП на душу населения

Table 3
Linear regression models of the correlation between the level and dynamics of the circular economy development and GDP per capita

Зависимая переменная ***Y***	Коэффициент регрессии ***a***	Свободный член ***b***	Коэффициент детерминации R^2
MW (2018)	0,0045***	381,78***	0,49
RMW (2018)	0,0004**	26,238***	0,25
Δ*RMW* (2015–2018)	–0,00008*	5,08**	0,08
UCM (2017)	0,00019*	4,0311	0,14
IW (2016)	–0,0029**	181,338***	0,41
Δ*IW* (2014–2016)	–0,00028*	12,265**	0,1
RIW (2016)	0,00033*	42,935***	0,11

* Статистическая значимость *t*-статистики коэффициента регрессии/свободного члена на уровне 0,1.
** Статистическая значимость *t*-статистики коэффициента регрессии/свободного члена на уровне 0,05.
*** Статистическая значимость *t*-статистики коэффициента регрессии/свободного члена на уровне 0,01 и выше.

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 4
Модели линейной регрессии зависимости уровня и динамики развития циркулярной экономики от затрат на исследования и разработки, % от ВВП

Table 4
Linear regression models of the correlation between the level and dynamics of the circular economy development and R&D expenditures, percentage of GDP

Зависимая переменная *Y*	Коэффициент регрессии *a*	Свободный член *b*	Коэффициент детерминации R^2
RMW (2018)	12,632***	16,959***	0,51
UCM (2017)	2,77*	4,175	0,13
RIW (2016)	7,524*	39,098***	0,38

* Статистическая значимость *t*-статистики коэффициента регрессии/свободного члена на уровне 0,1.
** Статистическая значимость *t*-статистики коэффициента регрессии/свободного члена на уровне 0,05.
*** Статистическая значимость *t*-статистики коэффициента регрессии/свободного члена на уровне 0,01 и выше.

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 5
Модели линейной регрессии зависимости уровня и динамики развития циркулярной экономики от государственных затрат на исследования и разработки, % от объема государственных расходов

Table 5
Linear regression models of the correlation between the level and dynamics of the circular economy development and national R&D expenditures, percentage of governmental spending

Зависимая переменная *Y*	Коэффициент регрессии *a*	Свободный член *b*	Коэффициент детерминации R^2
REW(2017)	11,418**	29,774***	0,18
ΔREW(2015–2017)	9,128**	–7,91	0,18
ΔRIW(2014–2016)	–5,414**	8,029**	0,44

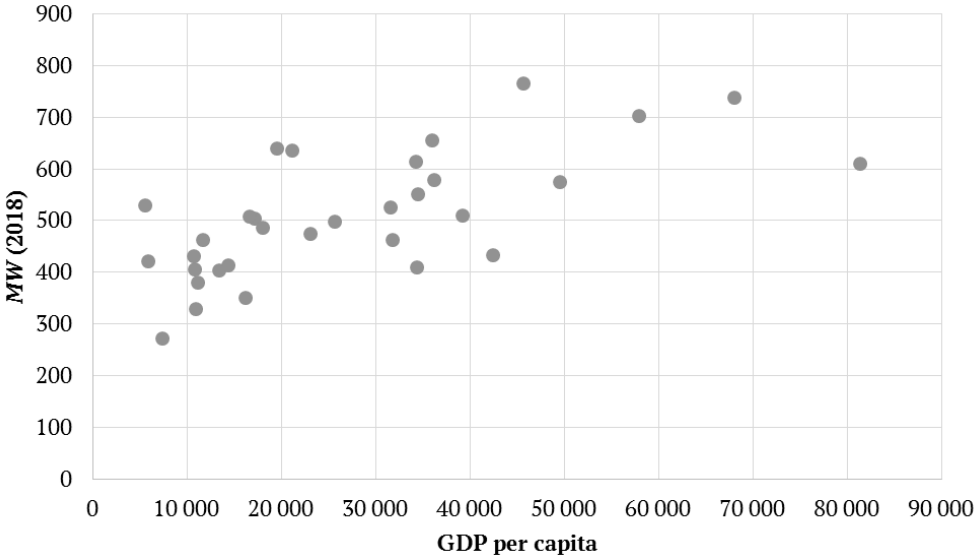
* Статистическая значимость *t*-статистики коэффициента регрессии/свободного члена на уровне 0,1.
** Статистическая значимость *t*-статистики коэффициента регрессии/свободного члена на уровне 0,05.
*** Статистическая значимость *t*-статистики коэффициента регрессии/свободного члена на уровне 0,01 и выше.

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 1
Зависимость уровня отходообразования от ВВП на душу населения

Figure 1
Waste generation versus GDP per capita

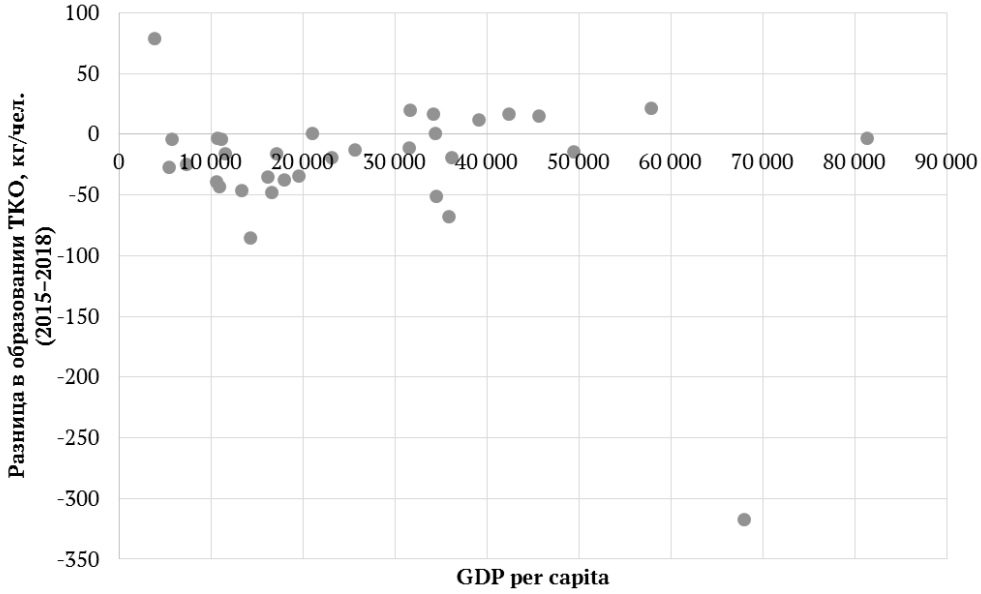


Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 2
Зависимость динамики отходообразования от ВВП на душу населения

Figure 2
Waste generation versus GDP per capita

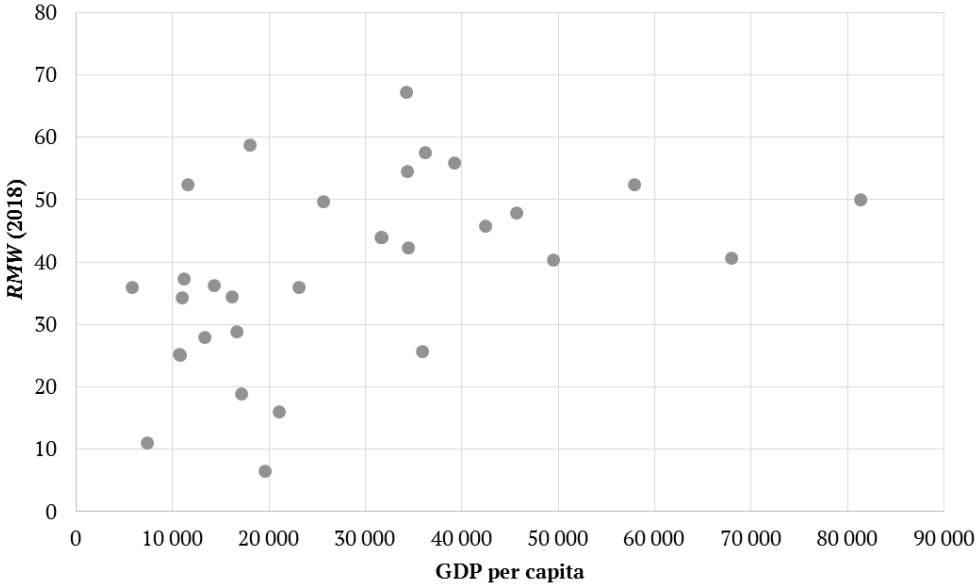


Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 3
Зависимость уровня развития переработки муниципальных отходов от ВВП на душу населения

Figure 3
The correlation between the municipal waste recycling development level and GDP per capita

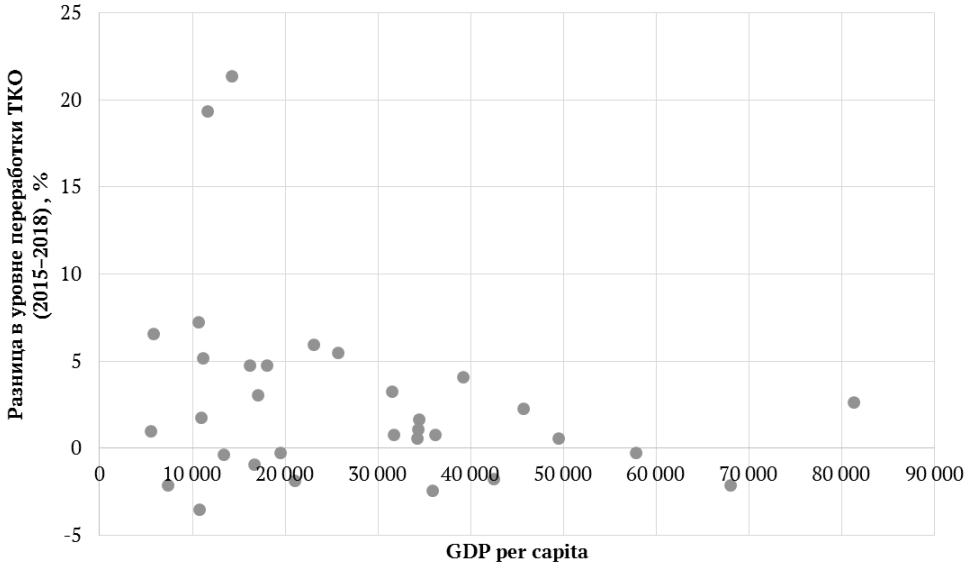


Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 4
Зависимость динамики развития переработки муниципальных отходов от ВВП на душу населения

Figure 4
The correlation of trends in municipal waste recycling development and GDP per capita



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. *Murray A., Skene K., Haynes K.* The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 2017, vol. 140, pp. 369–380. URL: https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2
2. *Ратнер С.В.* Циркулярная экономика: теоретические основы и практические приложения в области региональной экономики и управления // Инновации. 2018. № 9. С. 2–10. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsirkulyarnaya-ekonomika-teoreticheskie-osnovy-i-prakticheskie-prilozheniya-v-oblasti-regionalnoy-ekonomiki-i-upravleniya/viewer
3. *Wang P., Kara S.* Material Criticality and Circular Economy: Necessity of Manufacturing Oriented Strategies. *Procedia CIRP*, 2019, vol. 80, pp. 667–672. URL: https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.056
4. *Korhonen J., Honkasalo A., Seppälä J.* Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 2018, vol. 143, pp. 37–46. URL: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041
5. *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-energosberegayuschih-tehnologiy-v-ramkah-kontseptsii-zelenoy-ekonomiki-zarubezhnyy-opyt-i-rossiya
6. *Иосифов В.В.* Сценарный анализ со-направленного развития инновационных автотранспортных технологий и технологий электрогенерации // Экономический анализ: теория и практика. 2016. № 11. С. 167–178. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/stsenarnyy-analiz-so-napravlennogo-razvitiya-innovatsionnyh-avtotransportnyh-tehnologiy-i-tehnologiy-elektrogeneratsii/viewer
7. *Чувырова А.Е., Иосифов В.В.* Интеграция оценки жизненного цикла продукции в методологию управления развитием энергосистемы региона // Друкеровский вестник. 2019. № 3. С. 292–303. URL: http://drucker.npi-tu.ru/assets/files/dv-2019-3/26Chuvyrova.pdf
8. *Матюшок В.М., Серджио Б., Балашова С.А., Гомонов К.Г.* Влияние Smart Grid и возобновляемых источников энергии на энергоэффективность: зарубежный опыт // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер.: Экономика. 2017. Т. 25. № 4. С. 583–598. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-smart-grid-i-vozobnovlyaemyh-istochnikov-energii-na-energoeffektivnost-zarubezhnyy-opyt/viewer
9. *Jesus A., Mendonça S.* Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-Innovation Road to the Circular Economy. *Ecological Economics*, 2018, vol. 145, pp. 75–89. URL: http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3038887
10. *Kirchherr J., Piscicelli L., Bour R. et al.* Barriers to the Circular Economy: Evidence from the European Union (EU). *Ecological Economics*, 2018, vol. 150, pp. 264–272. URL: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028

11. *Petit-Boix A., Leipold S.* Circular Economy in Cities: Reviewing How Environmental Research Aligns with Local Practices. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 195, pp. 1270–1281. URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.281

12. *Валько Д.В.* Циркулярная экономика: теоретическая модель и эффекты реализации // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2018. Т. 14. Вып. 8. С. 1415–1429. URL: https://doi.org/10.24891/ni.14.8.1415

13. *Гурьева М.А.* Циркулярная экономика как инновационная модель развития социально-экономического пространства // Вопросы инновационной экономики. 2019. Т. 9. № 4. С. 1295–1316. URL: https://1economic.ru/lib/41236

14. *Валько Д.В.* Устойчивое развитие и циркулярная экономика: межстрановое измерение // Управление в современных системах. 2020. № 1. С. 3–12. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivoe-razvitie-i-tsirkulyarnaya-ekonomika-mezhstranovoe-izmerenie/viewer

15. *McDowall W., Geng Y., Huang B. et al.* Circular Economy Policies in China and Europe. *Journal of Industrial Ecology*, 2017, vol. 21, iss. 3, pp. 651–661. URL: https://doi.org/10.1111/jiec.12597

16. *Domenech T., Bahn-Walkowiak B.* Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons from the EU and the Member States. *Ecological Economics*, 2019, vol. 155, pp. 7–19. URL: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.001

17. *Baldwin R.* Does Sustainability Require Growth? In: I. Goldin, L.A. Winters (Eds) The Economics of Sustainable Development. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 1995, pp. 19–47.

18. *Beckerman W.* Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment? *World Development*, 1992, vol. 20, iss. 4, pp. 481–496. URL: http://dx.doi.org/10.1016/0305-750X(92)90038-W

19. *Magnani E.* The Environmental Kuznets Curve, Environmental Protection Policy and Income Distribution. *Ecological Economics*, 2000, vol. 32, iss. 3, pp. 431–443. URL: https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00115-9

20. *Dosi G., Nelson R.R.* Technological Paradigms and Technological Trajectories. *Research Policy*, 1982, vol. 11, iss. 3, pp. 147–162. URL: https://doi.org/10.1057/978-1-349-94848-2_733-1

21. *Anderson P., Tushman M.L.* Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change. *Administrative Science Quarterly*, 1990, vol. 35, iss. 4, pp. 604–633. URL: http://dx.doi.org/10.2307/2393511

Информация о конфликте интересов

Я, автор данной статьи, со всей ответственностью заявляю 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.

pISSN 2073-4484
eISSN 2311-8768

Mathematical Analysis and Modeling in Economics

FACTORS OF THE CIRCULAR ECONOMY DEVELOPMENT

Svetlana V. RATNER

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

Article history:
Article No. 434/2020
Received 27 July 2020
Received in revised form
13 August 2020
Accepted 29 August 2020
Available online
13 November 2020

JEL classification: C67, Q58

Keywords: circular economy, econometric modeling, economic development, innovative development, government spending

Abstract

Subject. Today the circular economy is viewed as a new model of economic growth that allows overcoming resource constraints. Despite the general understanding that environmental problems are the main incentive for the transition to circular models of production and consumption, the underlying factors in the development of this economic model have not been fully studied in modern literature. Are circular production models available only to technologically highly developed rich countries, or, conversely, poverty and a total lack of resources are the best incentive for the development of a circular economy?

Objectives. I study the influence of such factors as the general economic and innovative development of the country, as well as the State's innovating activity to form and develop circular models of economic growth.

Methods. The research was carried out with methods of econometric modeling. Eurostat data were used as an underlying source of information.

Results. The study showed that the high level of the national economic development positively influences the resource efficiency of an economy, but more advanced countries produce more waste in the consumption sector. Production and consumption waste recycling demonstrates better trends in less economically developed countries. Countries with substantial innovation expenditures tend to have more robust municipal and industrial waste recycling technologies, as well as a more effective use of secondary materials. The development of an e-waste recycling system is essentially dependent on government incentives for innovation in this area.

Conclusions. The findings can be used for outlining national federal and regional programs for the development of production and consumption waste recycling mechanisms in Russia. Social entrepreneurship and business initiative may appear one of the priority mechanisms spurring the circular economy in Russia through traditional patterns of resource-saving consumer behavior.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2020

Please cite this article as: Ratner S.V. Factors of the Circular Economy Development. *Financial Analytics: Science and Experience*, 2020, vol. 13, iss. 4, pp. 430–447.
https://doi.org/10.24891/fa.13.4.430

Acknowledgments

The article was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project № 19-010-00383, *Models and Mechanisms for Raising the Circular Economy Given Institutional Constraints*.

References

1. Murray A., Skene K., Haynes K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 2017, vol. 140, pp. 369–380. URL: https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2

2. Ratner S.V. [Circular economy: Theoretical foundations and practical applications in the field of regional economy and management]. *Innovatsii = Innovations*, 2018, no. 9, pp. 2–10. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsirkulyarnaya-ekonomika-teoreticheskie-osnovy-i-prakticheskie-prilozheniya-v-oblasti-regionalnoy-ekonomiki-i-upravleniya/viewer (In Russ.)

3. Wang P., Kara S. Material Criticality and Circular Economy: Necessity of Manufacturing Oriented Strategies. *Procedia CIRP*, 2019, vol. 80, pp. 667–672. URL: https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.056

4. Korhonen J., Honkasalo A., Seppälä J. Circular Economy: The Concept and Its Limitations. *Ecological Economics*, 2018, vol. 143, pp. 37–46. URL: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041

5. 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 druzhby narodov. Ser.: Ekonomika = RUDN Journal of Economics*, 2019, vol. 27, no. 3, pp. 442–454. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-mikrogeneratsii-i-energosberegayuschih-tehnologiy-v-ramkah-kontseptsii-zelenoy-ekonomiki-zarubezhnyy-opyt-i-rossiya (In Russ.)

6. Iosifov V.V. [A scenario analysis of the co-directional development of innovative technology in automobile transport and power generation]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2016, no. 11, pp. 167–178. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/stsenarnyy-analiz-so-napravlennogo-razvitiya-innovatsionnyh-avtotransportnyh-tehnologiy-i-tehnologiy-elektrogeneratsii/viewer (In Russ.)

7. Chuvyrova A.E., Iosifov V.V. [Integration of product life cycle assessment in the methodology of managing the development of the regional energy system]. *Drukerovskij Vestnik*, 2019, no. 3, pp. 292–303. (In Russ.) URL: http://drucker.npi-tu.ru/assets/files/dv-2019-3/26Chuvyrova.pdf

8. Matyushok V.M., Serdzhio B., Balashova S.A., Gomonov K.G. [Influence of Smart Grid and Renewable Energy Sources on Energy Efficiency: Foreign Experience].

Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Ser.: Ekonomika = RUDN Journal of Economics, 2017, vol. 25, no. 4, pp. 583–598.
URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-smart-grid-i-vozobnovlyaemyh-istochnikov-energii-na-energoeffektivnost-zarubezhnyy-opyt/viewer (In Russ.)

9. Jesus A., Mendonça S. Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-Innovation Road to the Circular Economy. *Ecological Economics*, 2018, vol. 145, pp. 75–89.
URL: http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3038887

10. Kirchherr J., Piscicelli L., Bour R. et al. Barriers to the Circular Economy: Evidence from the European Union (EU). *Ecological Economics*, 2018, vol. 150, pp. 264–272.
URL: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028

11. Petit-Boix A., Leipold S. Circular Economy in Cities: Reviewing How Environmental Research Aligns with Local Practices. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 195, pp. 1270–1281. URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.281

12. Val'ko D.V. [Circular economy: A theoretical model and implementation effects]. *Natsional'nye interesy: prioritety i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2018, vol. 14, iss. 8, pp. 1415–1429. (In Russ.)
URL: https://doi.org/10.24891/ni.14.8.1415

13. Gur'eva M.A. [Circular economy as an innovative development model of socio-economic space]. *Voprosy innovatsionnoi ekonomiki = Russian Journal of Innovation Economics*, 2019, vol. 9, no. 4, pp. 1295–1316. URL: https://1economic.ru/lib/41236 (In Russ.)

14. Val'ko D.V. [Sustainable development and circular economy: Cross-country measurement]. *Upravlenie v sovremennykh sistemakh = Management in Modern Systems*, 2020, no. 1, pp. 3–12. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivoe-razvitie-i-tsirkulyarnaya-ekonomika-mezhstranovoe-izmerenie/viewer (In Russ.)

15. McDowall W., Geng Y., Huang B. et al. Circular Economy Policies in China and Europe. *Journal of Industrial Ecology*, 2017, vol. 21, iss. 3, pp. 651–661.
URL: https://doi.org/10.1111/jiec.12597

16. Domenech T., Bahn-Walkowiak B. Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons from the EU and the Member States. *Ecological Economics*, 2019, vol. 155, pp. 7–19.
URL: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.001

17. Baldwin R. Does Sustainability Require Growth? In: Goldin I., Winters L.A. (Eds) The Economics of Sustainable Development. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 1995, pp. 19–47.

18. Beckerman W. Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment? *World Development*, 1992, vol. 20, iss. 4, pp. 481–496.
URL: http://dx.doi.org/10.1016/0305-750X(92)90038-W

19. Magnani E. The Environmental Kuznets Curve, Environmental Protection Policy and Income Distribution. *Ecological Economics*, 2000, vol. 32, iss. 3, pp. 431–443. URL: https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00115-9

20. Dosi G., Nelson R.R. Technological Paradigms and Technological Trajectories. *Research Policy*, 1982, vol. 11, iss. 3, pp. 147–162. URL: https://doi.org/10.1057/978-1-349-94848-2_733-1

21. Anderson P., Tushman M.L. Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change. *Administrative Science Quarterly*, 1990, vol. 35, iss. 4, pp. 604–633. URL: http://dx.doi.org/10.2307/2393511

Conflict-of-interest notification

I, the author 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.