

Драйверы формирования циркулярной экономики: теория vs практика

Косолапова Наталья Алексеевна

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: nakosolapova@sfedu.ru

Матвеева Людмила Григорьевна

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: matveeva_lg@mail.ru

Никитаева Анастасия Юрьевна

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: aunikitaeva@sfedu.ru

Чернова Ольга Анатольевна

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: chernova.olga71@yandex.ru

Цитирование: Косолапова Н.А., Матвеева Л.Г., Никитаева А.Ю., Чернова О.А. (2023). Драйверы формирования циркулярной экономики: теория vs практика. *Terra Economicus* 21(2), 68–83. DOI: 10.18522/2073-6606-2023-21-2-68-83

Циркулярная экономика рассматривается как модель экономической системы, которая способна, с одной стороны, ответить на вызовы, стоящие перед обществом, с другой стороны – обеспечить достаточно высокую эффективность деятельности хозяйствующих субъектов. На практике процесс перехода к циркулярной экономике идет достаточно медленно. В статье проанализированы те факторы, которые в современных научных исследованиях относят к драйверам создания замкнутых производственных циклов. В качестве драйверов циркулярной экономики были определены следующие факторы: инновации, инвестиции, цифровизация, новые экосистемные формы организации экономики и специальные институциональные условия. Для количественной оценки эффектов циркуляризации были использованы такие показатели: объемы отходов производства и потребления; энергоёмкость ВРП; водоемкость ВРП. В эмпирической части исследования первоначально была проведена кластеризация регионов Российской Федерации по указанным выше показателям, результаты которой подтвердили корректность их выбора. Далее мы проверили гипотезу о том, что инновационная активность организаций, объем инвестиций в основной капитал и используемые цифровые технологии являются драйверами циркуляризации. Поскольку данное исследование носит разведочный характер, для построения модели был использован метод GRM – общих регрессионных моделей. Результаты исследования не подтвердили, что выделенные факторы играют в настоящее время роль драйверов перехода к циркулярной экономике. Мы объясняем это сложностями, связанными с измерением рассматриваемых явлений, предположительно латентным характером изучаемых драйверов, а также недостаточностью комплексного воздействия и относительно недавним распространением циркулярной экономики.

Ключевые слова: экономика замкнутого цикла; драйверы трансформации; институциональные условия; технологические инновации; эффекты циркулярной экономики; устойчивое развитие

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-00050 в Южном федеральном университете. <https://rscf.ru/project/22-28-00050/>

The drivers of the circular economy: Theory vs practice

Natalia Kosolapova

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: nakosolapova@sfnu.ru

Iyudmila Matveeva

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: matveeva_lg@mail.ru

Anastasia Nikitaeva

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: aunikitaeva@sfnu.ru

Olga Chernova

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: chernova.olga71@yandex.ru

Citation: Kosolapova N., Matveeva L., Nikitaeva A., Chernova O. (2023). The drivers of the circular economy: Theory vs practice. *Terra Economicus* 21(2), 68–83 (in Russian). DOI: 10.18522/2073-6606-2023-21-2-68-83

The circular economy has become a model that is able to respond, with rather high economic efficiency, to the challenges that a society faces. The principles of a circular economy do not expand rapidly, though. Our study deals with the key drivers for closed-loop cycle production, including innovation, investment, digitalization, new business ecosystems, and institutional framework. To quantify the effects of circular economy, we used three indicators: production and consumption waste; GRP energy intensity; GRP water intensity. Given these indicators, the regions of Russia were clustered. Further, the hypothesis was tested that the innovative activity of organizations, investment in fixed assets, and digital technologies used by business, are among the key drivers towards a circular economy. Since this research is an exploratory one, we apply the method of General Regression Models (GRM). Our findings did not confirm that the identified factors serve as the drivers for transitioning to a circular economy. We attribute the discrepancy between the results of literature review and empirical findings to the lack of reliable data, difficulties in measurement, the latent nature of related drivers, as well as the relatively short period of transition towards a more circular economy.

Keywords: closed-loop economy; drivers for transformation; institutional framework; technological innovations; effects of circular economy; sustainable development

Funding: The research is supported by the Russian Science Foundation № 22-28-00050 at the Southern Federal University. <https://rscf.ru/project/22-28-00050/>

JEL codes: O2, O3

Введение

Одним из актуальных направлений экономических исследований является определение способов трансформации общества, которые позволят обеспечить достижение целевых моделей развития в новых условиях. В этом контексте важно говорить и о поиске содержания указанных целевых моделей, и о формировании концептуальной и инструментальной основы перехода к ним.

Многочисленные исследования последних лет приводят большое количество аргументов в пользу принятия циркулярной экономики¹ как той модели экономической системы, которая спо-

¹ Англ. circular economy, также – экономика замкнутого цикла, круговая или циклическая экономика.

собна ответить на вызовы, стоящие перед обществом, обеспечивая при этом достаточно высокую степень эффективности для хозяйствующих субъектов (Матвеева и др., 2022; Geissdoerfer et al., 2017; Kirchherr et al., 2017; Korhonen, A., Honkasalo, 2017; Morsetto, 2023; Palea et al., 2023; Stefanakis and Nikolaou, 2022; Tedesco et al., 2022). Некоторые ученые отмечают, что циркулярная экономика представляет не так много возможностей для экономического роста, поскольку стимулируемый ею рост ВВП приводит к увеличению «материального следа» и не обеспечивает получение ожидаемых экономических эффектов (Bergh and Kallis, 2014). Поэтому, несмотря на признание актуальности перехода к циркулярным бизнес-моделям в академических и экспертных кругах, на практике эта концепция пока не реализуется в полной мере. Исследования показывают, что большинство компаний продолжают работать по традиционным, а не циркулярным бизнес-моделям (Gusmerotti et al., 2019). Наряду с этим, дискуссионными остаются вопросы о том, что выступает драйверами и что – условиями, обеспечивающими переход к циркулярной экономике.

Цель нашего исследования – выявить и изучить драйверы развития циркулярной экономики, а также оценить их роль в соответствующей экономической трансформации.

Обзор исследований по проблемам развития циркулярной экономики

Линейные модели производства и потребления, нерациональное использование ресурсов нанесли экономике и обществу в целом необратимый вред. В последние годы циркулярная экономика рассматривается как основа здорового экономического роста и способ повышения устойчивости развития. При этом любая экономическая деятельность должна обеспечивать максимизацию экосистемных функций и повышение благосостояния человека. В экономике замкнутого цикла формируется баланс между экологической ситуацией, экономическим развитием и благосостоянием населения (Murphy et al., 2017). Предполагается, что выгоды циркулярной экономики обеспечиваются извлечением большей ценности из используемых ресурсов при снижении наносимого окружающей среде ущерба (Rosa et al., 2019). Данная точка зрения стала мейнстримом в современной академической литературе. По некоторым оценкам, до 10% статей, посвященных циркулярной экономике, исследуют возможности экономического роста на основе замыкания производственных цепочек (Kirchherr, 2022). При этом экономический рост рассматривается не столько как самоцель, сколько как результат применения циркулярных моделей на основе эффективного ресурсопотребления (O'Neill et al., 2018).

В исследованиях по экономике замкнутого цикла важнейшим вопросом является выявление драйверов формирования экономических моделей.

Значительная часть исследователей в качестве такого драйвера называет цифровизацию. Например, отмечается, что цифровизация может стимулировать прорывные инновации, новые бизнес-модели и способы сотрудничества. Посредством этого ускоряется переход к более ресурсоэффективным и циклическим производственным системам (Neligan et al., 2022). Данное утверждение подкрепляется анализом данных по 599 немецким производственным фирмам и 296 поставщикам промышленных услуг. Ведущая роль цифровых технологий в конструировании циркулярной экономики подчеркивается также другими исследователями (Antikainen et al., 2018; Chiaroni et al., 2021; Pagoropoulos et al., 2017). В частности, они отмечают, что применение цифровых технологий позволяет более эффективно собирать и анализировать данные для построения цепочек создания стоимости, разрабатывать умные стратегии циркуляризации, более эффективно создавать и оценивать продукты, обеспечивать коллаборации партнеров, а также выступать базой для разработки других необходимых технологий и т.д. Более того, компании, которые уже встроили цифровизацию в свою стратегию, являются лидерами в области повышения материальной эффективности и замыкании производственных циклов (Neligan, 2018).

Исследуя цифровизацию как драйвер развития экономики замкнутого цикла, ученые отмечают, что создание соответствующих систем предполагает сложную трансформацию, требующую роста инноваций, инвестиций, других ресурсов (Neligan et al., 2022). Это подтверждается как минимум двумя аргументами. Во-первых, построение замкнутых производственных циклов на предприятиях включает реализацию новых технологических решений, для которых нужны модернизация производства и существенные капиталовложения. Во-вторых, для цифровой трансформации предприятий (в условиях Индустрии 4.0 речь идет не просто об использовании информационно-коммуникацион-

ных технологий, а о внедрении сквозных технологий, включая искусственный интеллект, дополненную реальность, мобильные и аддитивные технологии и т.д.) также необходимы инвестиции.

Следует отметить, что в настоящее время и сама информация непосредственно является стратегическим ресурсом развития и появления новых индустриальных моделей (Матвеева и др., 2018).

В качестве драйвера перехода к циркулярным моделям в экономике ряд исследователей отдельно отмечают инновации (Salvador et al., 2022). Анализируя значительный массив данных, указанные исследователи идентифицируют снижение рисков поставки ресурсов, уменьшение потери материалов и более эффективное использование ресурсов за счет инноваций и внедрения достижений научно-технического прогресса. Инновации, по мнению авторов, обеспечивают возможность получения конкурентных преимуществ через предложение продуктов со сниженным воздействием на окружающую среду. Также возможно более эффективное использование побочных продуктов/отходов и превращение их в новый источник дохода. На распространение инноваций большое влияние оказывают вузы (Serrano-Bedia и Perez-Perez, 2022). По мнению исследователей, решающая роль высших образовательных учреждений в этом процессе определяется тем, что они не только способны давать рекомендации стейкхолдерам по вопросам перехода к циркулярной экономике, но и поддерживать новые взгляды на общество и экономику, выходя за пределы лекционных залов, в отношении культивирования соответствующего менталитета и экологически ответственного гражданства.

Также исследователи считают важнейшим драйвером перехода к циркулярной экономике государственное воздействие. Так, в работе (Su et al., 2013) на основе теоретических и эмпирических исследований на примере Китая утверждается, что значимой движущей силой при переходе к циркулярной экономике являются льготная налоговая политика (в том числе экологические налоги), страхование ответственности в результате ущерба окружающей среде, экологическая маркировка. В указанном исследовании подчеркивается, что для развития циркулярной экономики необходимо, чтобы правительство точно определило ключевые технологические области и проекты в соответствии с текущими и долгосрочными требованиями, поддержало исследовательские усилия в области энергосбережения, альтернативной энергетики и переработки отходов, а также обеспечило повышение осведомленности и участия общественности в реализации таких проектов.

Систематизируя различные взгляды на факторы и условия развития циркулярной экономики, некоторые ученые выявляют 14 драйверов (факторов успеха экономики замкнутого цикла): 1) правовая и нормативная экологическая база; 2) государственная налоговая и финансово-кредитная поддержка; 3) потенциал для повышения экономической эффективности производства; 4) потенциал для развития нового бизнеса и инноваций; 5) экологические и 6) стратегические проблемы, требующие разрешения; 7) навыки и возможности для циркулярной экономики; 8) глобальное давление; 9) возможность создания рабочих мест; 10) осведомленность потребителей о возможностях циркулярной экономики; 11) коммуникации и сотрудничество; 12) конфигурация поставок; 13) технологии для рециркуляции; 14) информационно-коммуникационные технологии (Aloini et al., 2020). Для конструирования модели циркулярной экономики данные драйверы были классифицированы по семи измерениям: институциональное; экономическое; экологическое; организационное; социальное; цепочка поставок; технологическое.

Эффекты реализации циркулярных бизнес-моделей исследователи чаще всего рассматривают через призму концепции устойчивого развития, выделяя экономическую, экологическую, социальную эффективность и системные изменения (Bücker et al., 2021b). Например, Т. Дентес с коллегами (Dantas et al., 2021), а также Э. МакАртур² отмечают существенный вклад циркулярной экономики в достижение Целей устойчивого развития ООН: по ответственному потреблению и производству; по промышленному развитию; по борьбе с изменением климата. Serrano-Bedia и Perez-Perez (2022) отмечают, что переход к экономике замкнутого цикла может создать больше рабочих мест, увеличить валовой внутренний продукт (ВВП) и обеспечить экономический рост. Так, по оценкам McKinsey Center for Business and Environment³, формирование циркулярной экономики может создать около 700 000 рабочих мест при чистой экономической выгоде в размере 1,8 трлн евро в Европейском союзе к 2030 г. В Африке решения в области циркуляризации про-

² MacArthur, E. (2021). *Universal circular economy policy goals*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/press-release-universal-policy-goals>

³ Europe's circular-economy opportunity (2020). McKinsey Center for Business and Environment. <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/europes-circular-economy-opportunity>

довольственных систем могут помочь создать индустрию стоимостью в триллион долларов и способствовать появлению миллионов «зеленых» рабочих мест к 2030 г.⁴

Наибольшие эффекты циркуляризации исследователи связывают с институционально определяемыми рамками взаимодействий:

- на макроуровне речь идет о стратегиях, а также о плате за пользование природными ресурсами и создании стимулов для переработки и использования возобновляемых ресурсов, например, в энергетике (Geng and Doberstein, 2008);
- на микроуровне – через готовность организаций к принятию и реализации культуры разумного потребления и экономии ресурсов (Arekrans et al., 2022; Bertassini et al., 2022; Bucker et al., 2021a; Gomes et al., 2022).

Следует отметить некоторые причинно-следственные связи, определяющие циркуляризацию на разных уровнях. Одним из ключевых драйверов исследователи называют инновационные бизнес-модели, построенные на принципах экономики замкнутого цикла (Geissdoerfer et al., 2020). В свою очередь, ограниченные способности компаний к таким инновациям выступают основным барьером циркуляризации (De Padua Pieroni et al., 2019). Повышению инновационности может способствовать принятие новых моделей и продуктов потребителями (Bucker et al., 2021a), а механизмом конструирования – дизайн-мышление (Santa-Maria et al., 2022). В целом можно отметить, что без массового принятия циркулярных моделей на микроуровне отсутствует возможность достижения значимых показателей циркуляризации на более высоких уровнях иерархии экономики.

Существующие методы и индикаторы оценки эффектов циркуляризации охватывают широкий спектр бизнес-моделей и их составляющих, но сконцентрированы преимущественно на оценке развития (представленности, реализации) циркулярной экономики на разных иерархических уровнях, в большей степени – на микроуровне. При этом у исследователей нет единой точки зрения в отношении того, какие показатели следует выбирать для оценки отдельных эффектов на различных уровнях управления.

Чаще всего исследователи фокусируются на оценке экологических и экономических эффектов, используя ключевые показатели эффективности. Социальные последствия циркуляризации рассматриваются реже. Между тем в научной литературе появляется все больше исследований, посвященных влиянию циркулярной экономики на культурные экосистемы. Например, некоторые исследователи подчеркивают, что концепция циркулярной экономики должна распространяться не только на производственные системы, но и на креативные индустрии с точки зрения наличия побочных продуктов и отходов при проведении различного рода культурных мероприятий (Pratt, 2022). Роль социальных эффектов в развитии циркулярной экономики отмечается и другими исследователями: например, повторное использование сточных вод позволяет повысить качество питьевой воды и улучшить эпидемиологическую ситуацию в ряде регионов (Villarín and Merel, 2020).

Совокупность существующих инструментов оценки влияния циркулярных моделей на устойчивость развития объединяется исследователями в следующие группы (Calzolari et al., 2022):

- монетарные инструменты – использование рыночных оценок на основе анализа затрат/выгод;
- биофизические инструменты – исследование потоков энергии, материалов и отходов в системе на разных этапах жизненного цикла производства;
- композитные и многокритериальные инструменты предполагают многомерный анализ с использованием субиндикаторов, либо объединенных в один индекс, либо используемых как совокупность многокритериальных показателей.

Однако существующая научная литература по методикам сопряженной оценки драйверов и эффектов циркулярной экономики очень фрагментирована. Отсутствует единообразие как в отношении критериев выбора показателей оценки, так и в используемых подходах.

Методология исследования

В нашей работе драйверами – движущими факторами – считаются силы, которые способствуют облегчению или ускорению перехода к циркулярной экономике. На основе теоретического анализа в качестве драйверов циркуляризации были определены следующие факторы: инновации, инвестиции,

⁴ Five big bets for the Circular Economy in Africa. Insight report (2021). World Economic Forum. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Five_Big_Bets_for_the_Circular_Economy_in_Africa_2021.pdf

цифровизация, новые экосистемные формы организации экономики (в первую очередь кластеры и другие формы партнерств хозяйствующих субъектов в промышленности) и специальные институциональные условия. Мы рассматриваем инновационные кластеры как экосистемы особого рода: с одной стороны, объединяя предприятия сопряженных сфер экономической деятельности или отраслей экономики, эти структуры эффективно реализуют модель замкнутого цикла для наиболее рационального распределения и использования ресурсов, инноватизации, устойчивости, экологичности и достижения баланса разнонаправленных интересов участников; с другой стороны, они обладают достаточно высоким автономным потенциалом даже в условиях высокой нестабильности, оказывая активное воздействие на внешнюю среду. Более того, для построения циркулярных моделей необходимы организационные инновации, которые требуют различного рода экспертных знаний, а также организации коллективных усилий через кооперативные организации, сети, консорциумы, чтобы предприятия могли воспользоваться преимуществами коллективных усилий. Кооперативные организации (поставщики сырья, инвесторы или конечные пользователи) могут облегчить коммерциализацию технологий, а также помочь смягчить последствия производственной деятельности. На тактическом и оперативном уровне преимущество интегрированных биоперерабатывающих заводов состоит в производстве широкого ассортимента продукции. Что касается более стратегического подхода, то можно упомянуть использование совместных предприятий для валоризации отходов, а также совместного создания ценности и совместных исследований и разработок (Salvador et al., 2022). Индустриальные парки выступают важной социально-экономической основой технологических взаимодействий (Su et al., 2013), необходимой для построения замкнутых производственных циклов.

Данные, достаточные для эмпирической верификации роли экосистем как драйверов перехода к циркулярной экономике, в настоящее время отсутствуют. С учетом этого мы рассматриваем в качестве индикаторов соответствующих факторов инновационную активность организаций, объем инвестиций в основной капитал и используемые цифровые технологии. Выбор этих факторов объясняется тем, что, по нашему мнению, они наиболее емко отражают условия, при которых социально-экономические системы имеют возможность реализации проектов циркулярной экономики. За рамками данного исследования остаются институциональные факторы. Мы принимаем во внимание отсутствие достаточного опыта реализации специализированных стратегий и программ конструирования циркулярной экономики в современных российских условиях.

Для количественной оценки эффектов циркуляризации были использованы показатели: объемы отходов производства и потребления; энергоемкость ВРП; водоемкость ВРП, как наиболее часто используемые исследователями при обосновании целесообразности применения технологий замкнутого цикла для достижения целей устойчивого развития. Традиционно самыми энерго- и водозатратными считаются отрасли энергетики и добычи природных ресурсов, сельское хозяйство, металлургия. На первом этапе данной части исследования была проведена кластеризация регионов РФ по указанным выше показателям. Необходимость кластеризации связана со значительными различиями в их отраслевой специализации и, как следствие, неоднородностью рассматриваемых показателей социально-экономического развития. В качестве метода кластеризации использовался метод *k*-средних.

На втором этапе исследования осуществлялась проверка гипотезы о том, что инновационная активность организаций, объем инвестиций в основной капитал и используемые цифровые технологии являются драйверами циркуляризации. Поскольку данное исследование о драйверах циркулярной экономики носит разведочный характер, то для построения модели мы использовали метод GRM – общих регрессионных моделей. Процедура формирования модели заключалась в использовании пошагового алгоритма построения «регрессии наилучшего подмножества», заключающегося в переборе всех возможных альтернатив сочетания предикторов (подмножеств), и включала следующие шаги:

- построение первичной модели, включающей все возможные факторы, определяющие поведение результирующей или результирующих переменных;
- тестирование составляющих первичной модели для определения менее сложных моделей, соответствующих цели исследования;
- определение из возможных упрощенных моделей самой простой, которая и будет являться «наилучшей» объясняющей комбинацией.

Для оценки качества модели, построенной на «наилучшем подмножестве», был использован коэффициент детерминации и *CP* Маллоу.

Построение моделей GRP осуществлялось по «регрессионным планам».

План множественной регрессии предполагает использование непрерывных предикторов. В этом случае уравнение регрессии первого порядка для нескольких непрерывных предикторов X_i может быть представлено уравнением:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n.$$

В том случае, когда наблюдается не только зависимость предикторов и результирующих переменных, но и влияние сочетаний предикторов, рассматривается план факторной регрессии, и уравнение регрессии будет содержать не только «эффекты первого порядка», т.е. чистые эффекты влияния предикторов на результат, но и второго, т.е. влияние их взаимодействия. Таким образом, формально модель, например для трех переменных, можно представить как:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_2X_3 + b_6X_1X_3.$$

Еще одним возможным вариантом регрессионных планов является полиномиальная регрессия, предполагающая учет эффектов первого порядка, т.е. зависимость от предикторов и от более высоких порядков (степеней) объясняющих переменных:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1^2 + b_5X_2^2 + b_6X_3^2.$$

Применение подхода, основанного на «регрессионных планах», позволило выявить наиболее удачное сочетание переменных, характеризующих инновационную и инвестиционную активность организаций, использование цифровых технологий с точки зрения оценки их влияния на результирующие индикаторы циркуляризации.

В качестве учитываемых эффектов в модели рассматривались переменные: Степень износа основных средств, Инновационная активность организаций за 2018–2020 гг., Инвестиции в основной капитал за 2018–2020 гг., Используемые цифровые технологии за 2018–2020 гг. Данные по инновациям, инвестициям и цифровым технологиям использованы за три года, поскольку инвестиционные вложения, инновационные и цифровые решения в деятельности хозяйствующих субъектов не дают немедленного эффекта, а приводят к положительным изменениям с определенным временным лагом. Погружение на большую временную глубину не представляется целесообразным как в силу новизны концепции и технологий циркулярной модели, так и по причине динамичности цифровой экономики и скорости появления и внедрения новых технологий.

Оценка осуществлялась с использованием возможностей модуля Обобщенные линейные модели ППП STATISTICA.

Источниками информации послужили официальные публикации Федеральной службы государственной статистики: Статистический бюллетень «Основные показатели охраны окружающей среды» (2021 г.), Статистический бюллетень «Информация для ведения мониторинга социально-экономического положения субъектов Российской Федерации» (2021 г.), данные Российского научно-исследовательского института водного хозяйства.

Результаты исследования

Анализ нескольких классификационных моделей показал, что лучшей, с позиций формальных критериев качества и предметной интерпретации результатов, признана модель, обладающая следующими характеристиками (табл. 1). Согласно данной модели, были выделены четыре кластера (Приложение 1). Как видно из приведенных данных, наиболее значимыми для сегментации регионов являются показатели, характеризующие эффективность использования водных и энергетических ресурсов, график средних значений которых представлен на рис. 1.

Первый кластер представлен такими регионами, как Липецкая область, республики Тыва и Хакасия, на территории которых располагаются крупнейшая Саяно-Шушенская ГЭС, предприятия горнодобывающей (асбест, цветные металлы, золото и др.) и металлургической промышленности (производство и переработка алюминия), что позволяет характеризовать его как региональный кластер с высоким уровнем развития промышленного комплекса с наиболее энергозатратными отраслями.

Таблица 1

Характеристики классификационной модели

Переменные	Дисперсионный анализ					
	Между SS	сс	Внутри SS	сс	F	значим. p
Образование отходов	0,79508	3	7,48834	76	2,68980	0,052194
Энергоемкость ВРП	51,76291	3	14,24249	76	92,07149	0,000000
Водоемкость ВРП	11,67985	3	3,49663	76	84,62128	0,000000

Источник: составлено авторами.

Во втором кластере представлены регионы, специализирующие на машиностроении, химическом и нефтехимическом производстве: Самарская, Ленинградская, Волгоградская области, а также субъекты РФ с развитым лесопромышленным комплексом и издательско-полиграфической деятельностью: Ленинградская область, Пермский и Красноярский края. Этот кластер второй по уровню энергозатрат.

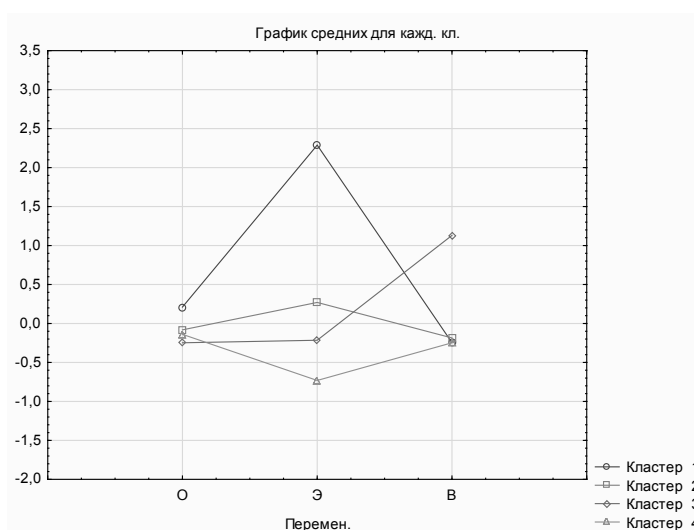


Рис. 1. График средних значений показателей по кластерам

Источник: составлено авторами

Состав третьего кластера, в который включены в основном регионы Северо-Кавказского федерального округа, а также Костромская и Тверская области, позволяет охарактеризовать его как сельскохозяйственный и пищевой (хлебопекарная, маслодельная и молочная, мясная, а также ликеро-водочная и пивная промышленность) что подтверждается высокими показателями использования водных ресурсов.

Четвертый кластер представлен регионами с различной специализацией, но близость к ядру кластера таких регионов, как Республика Татарстан, Тюменская и Оренбургская области, и с другой стороны Новосибирской, Томской и Ростовской областей, а также городов Москвы и Санкт-Петербурга, позволяет характеризовать его как совокупность регионов не только с развитым ресурсодобывающим комплексом, но и с преобладанием высокотехнологичного и наукоемкого сектора, что очевидно влияет индикаторы циркулярности. Этот кластер характеризуется самыми низкими затратами энергетических и водных ресурсов.

Таким образом, кластеризация показала, что группировка регионов страны по кластерам в соответствии с уровнем циркуляризации экономики в полной мере соответствует отраслевой специфике деятельности данных субъектов РФ и является корректной.

В свою очередь, для подтверждения гипотезы о наличии связи между показателями, характеризующими факторы развития циркулярной экономики, была построена регрессионная модель. Результаты оценки регрессионной модели отражены в табл. 2–4.

Таблица 2

Оценка уравнения для индикатора «Отходы»

Наименование показателей	Параметры модели	Ст. ошибка	t	p
Константа модели	-0,095	0,035	-2,745	0,008
Степень износа ОС	-0,002	0,039	-0,043	0,966
Инновац. активность орг. 2018	-0,006	0,057	-0,114	0,909
Инновац. активность орг. 2019	0,037	0,076	0,484	0,630
Инновац. активность орг. 2020	-0,097	0,067	-1,441	0,154
Инвестиции в осн. кап. 2018	0,000	0,217	-0,001	1,000
Инвестиции в осн. кап. 2019	0,875	0,305	2,868	0,005
Инвестиции в осн. кап. 2020	-0,865	0,239	-3,626	0,001
Исп. цифр. техн. 2018	0,024	0,066	0,362	0,719
Исп. цифр. техн. 2019	-0,037	0,078	-0,477	0,635
Исп. цифр. техн. 2020	0,008	0,068	0,116	0,908

Источник: составлено авторами.

Таблица 3

Оценка уравнения для индикатора «Энергоемкость»

Наименование показателей	Параметры модели	Ст. ошибка	t	p
Константа модели	-0,028	0,101	-0,278	0,782
Степень износа ОС	0,294	0,114	2,574	0,012
Инновац. активность орг. 2018	-0,150	0,164	-0,911	0,366
Инновац. активность орг. 2019	-0,087	0,221	-0,391	0,697
Инновац. активность орг. 2020	0,123	0,195	0,631	0,530
Инвестиции в осн. кап. 2018	-0,431	0,629	-0,685	0,496
Инвестиции в осн. кап. 2019	-0,066	0,884	-0,075	0,941
Инвестиции в осн. кап. 2020	0,277	0,692	0,400	0,690
Исп. цифр. техн. 2018	-0,039	0,191	-0,201	0,841
Исп. цифр. техн. 2019	0,104	0,227	0,459	0,648
Исп. цифр. техн. 2020	0,032	0,197	0,160	0,873

Источник: составлено авторами.

Таблица 4

Оценка уравнения для индикатора «Водоемкость»

Наименование показателей	Параметры модели	Ст. ошибка	t	p
Константа модели	-0,094	0,044	-2,139	0,036
Степень износа ОС	-0,007	0,050	-0,143	0,887
Инновац. активность орг. 2018	0,059	0,072	0,814	0,419
Инновац. активность орг. 2019	-0,185	0,097	-1,908	0,060
Инновац. активность орг. 2020	-0,023	0,085	-0,265	0,792
Инвестиции в осн. кап. 2018	0,250	0,276	0,907	0,367
Инвестиции в осн. кап. 2019	-0,724	0,388	-1,864	0,067
Инвестиции в осн. кап. 2020	0,374	0,304	1,231	0,222
Исп. цифр. техн. 2018	0,042	0,084	0,498	0,620
Исп. цифр. техн. 2019	-0,213	0,100	-2,133	0,036
Исп. цифр. техн. 2020	0,096	0,087	1,107	0,272

Источник: составлено авторами.

Для визуализации полученных результатов были построены карты Парето (рис. 2).

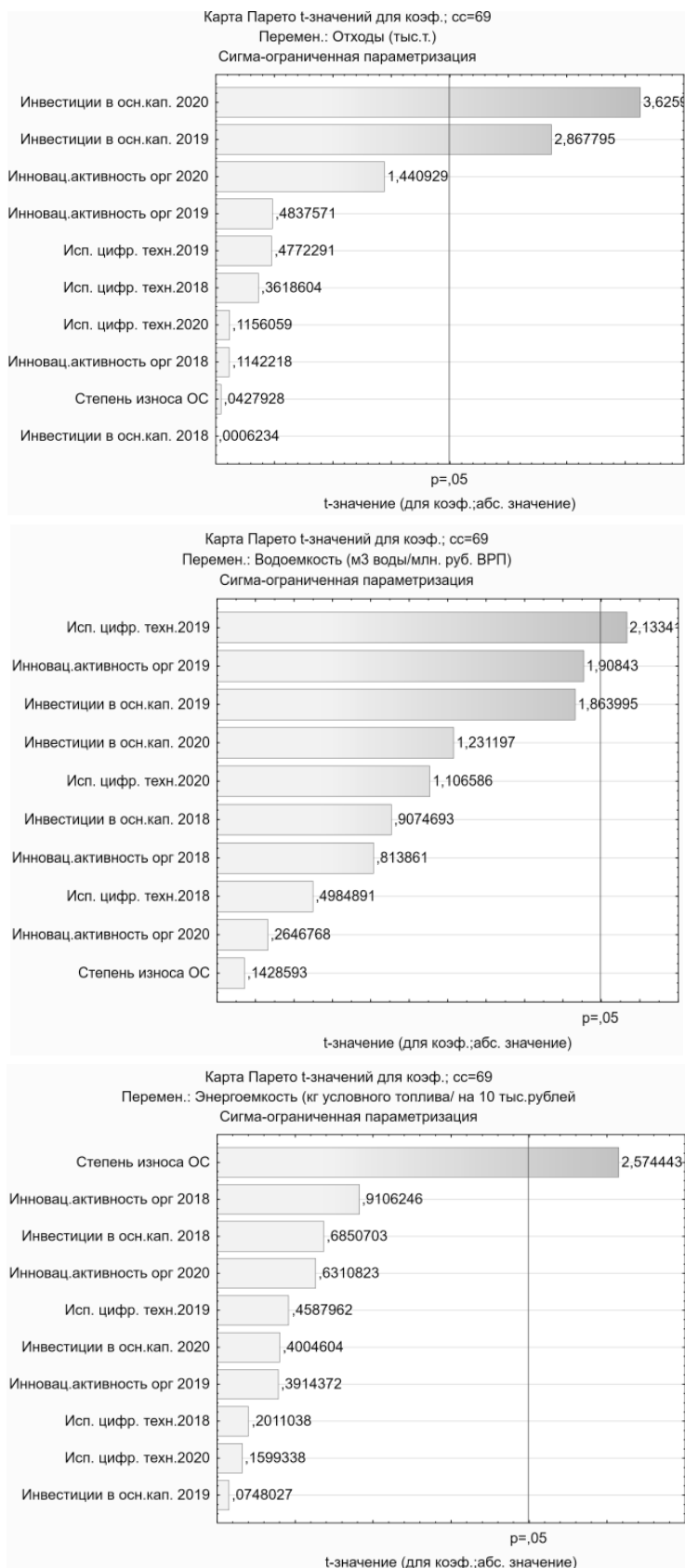


Рис. 2. Карты Парето

Источник: составлено авторами.

В построении участвовали все заявленные в качестве предикторов переменные. Однако, как видно из рис. 2, значимыми на уровне 0,05 являются:

- для индикатора «Отходы» – переменные, характеризующие инвестиции в основной капитал текущего и предшествующего годов;
- для индикатора «Водоемкость» – показатель использования цифровых технологий текущего периода;
- для индикатора «Энергоемкость» – показатель износа основных средств.

Таким образом, не установлено на основе эконометрического анализа эмпирических данных, являются ли выделенные в теории факторы драйверами создания циркулярной экономики. Выдвинутая гипотеза не получила достаточного подтверждения.

Обсуждение результатов

Полученные результаты позволяют не только сделать определенные выводы, но и поставить новые вопросы, которые требуют дальнейших исследований.

Кластерный анализ показателей, отражающих уровень циркулярной экономики, позволил установить, что российские регионы, вошедшие в различные кластеры, существенно отличаются в зависимости от уровня промышленного развития, преобладания тех или иных отраслей и т.д. Наше исследование подтвердило, что показатели, выбранные для оценки, достаточно четко и адекватно отражают уровень развития циркулярной экономики.

Гипотеза о том, что выделенные в результате теоретического анализа факторы являются драйверами развития циркулярной экономики, не была подтверждена статистически. Ни инвестиции, ни инновации не продемонстрировали существенной взаимосвязи с результирующими показателями, характеризующими развитие циркулярной экономики. Тем не менее сделать однозначный вывод не представляется возможным в силу ряда аргументов. Во-первых, каждый из выделенных факторов может быть представлен несколькими показателями. Во-вторых, ряд теоретически выделенных факторов не мог быть подтвержден эмпирическими данными в рамках существующей системы мониторинга и сбора статистических данных. Теоретически обоснованное влияние, например, экосистем и институтов требует дальнейшего изучения. В-третьих, следует учитывать признаваемый экспертами недостаточный уровень инновационной активности предприятий. Вероятно, инновации являются драйвером, но их текущего уровня недостаточно для осуществления перехода к экономике замкнутого цикла. И тут следует принимать во внимание и стратегии инновационного развития, и стимулирование спроса на инновации (Вольчик и др., 2022). Фактически в данном случае можно говорить как о латентных драйверах, так и о важности комплексного воздействия всех выявленных в работе факторов, их взаимоувязки для получения заметного эффекта в развитии экономики замкнутого цикла. В качестве рекомендации можно указать на целесообразность интеграции технологических, экономических, институциональных решений для достижения заметного эффекта в рассматриваемом контексте. В том числе стоит учесть возможность конвергенции концепций умных территорий, устойчивого развития (Nikitaeva et al., 2022) и циркулярной экономики.

Следует также принимать во внимание новизну самой концепции циркулярной экономики: в российском институциональном поле она появилась буквально в последние годы. В исследовании драйверов и условий развития экономики замкнутого цикла необходимо сочетать количественные и качественные методы. Все перечисленные аспекты отражают направления дальнейших исследований авторов в выбранной тематической области.

Литература / References

- Вольчик В.В., Пантеева С.А., Ширяев И.М. (2022). Институт региональных стратегий в российской инновационной системе. *Journal of Institutional Studies* 14(3), 6–30. [Volchik, V., Panteeva, S., Shiriaev, I. (2022). Institution of regional strategies in the Russian innovation system. *Journal of Institutional Studies* 14(3), 6–30 (in Russian)]. DOI: 10.17835/2076-6297.2022.14.3.006-030

- Матвеева Л.Г., Косолапова Н.А., Каплюк Е.В., Лихацкая Е.А. (2022). Модели циркулярной экономики в ресурсообеспечении индустриального развития регионов. *Terra Economicus* **20**(3), 116–132. [Matveeva, L., Kosolapova, N., Kaplyuk, E., Likhatskaia, E. (2022). Circular economy in the resource supply for regional industrial development. *Terra Economicus* **20**(3), 116–132 (in Russian)]. DOI: 10.18522/2073-6606-2022-20-3-116-132
- Матвеева Л.Г., Никитаева А.Ю., Чернова О.А. (2018). Информация как стратегический ресурс регионального развития: институционально-технологические аспекты. *Terra Economicus* **16**(1), 134–145. [Matveeva, L., Nikitaeva, A., Chernova, O. (2018). Information as a strategic resource for regional development: Institutional and technological aspects. *Terra Economicus* **16**(1), 134–145 (in Russian)]. DOI: 10.23683/2073-6606-2018-16-1-134-145
- Aloini, D., Dulmin, R., Mininno, V., Stefanini, A., Zerbino, P. (2020). Driving the transition to a circular economic model: A systematic review on drivers and critical success factors in circular economy. *Sustainability* **12**(24), 10672. DOI: 10.3390/su122410672
- Antikainen, M., Uusitalo, T., Kivikytö-Reponen, P. (2018). Digitalisation as an enabler of circular economy. *Procedia CIRP* **73**, 45–49. DOI: 10.1016/j.procir.2018.04.027
- Arekrans, J., Sopjani, L., Laurenti, R., Ritzén, S. (2022). Barriers to access-based consumption in the circular transition: A systematic review. *Resources, Conservation and Recycling* **184**, 106364. DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106364
- Bergh, J., Kallis, G. (2014). Growth, a-growth or degrowth to stay within planetary boundaries? *Journal of Economic Issues* **46**(4), 909–920. DOI: 10.2753/JEI0021-3624460404
- Bertassini, A., Calache, L., Carpinetti, L., Ometto, A., Gerolamo, M. (2022). CE-oriented culture readiness: An assessment approach based on maturity models and fuzzy set theories. *Sustainable Production and Consumption* **31**, 615–629. DOI: 10.1016/j.spc.2022.03.018
- Bücker, C., Geissdoerfer, M., Kumar, M. (2021a). *100 practices to foster consumer acceptance in the circular economy*. In R&D management conference 2021, 6–8 July. Glasgow, Scotland: RADMA.
- Bücker, C., Geissdoerfer, M., Kumar, M. (2021b). *Circular business model innovation frameworks to foster consumer acceptance: A review*. BAM2021 Conference in the Cloud, Lancaster, UK. https://www.researchgate.net/publication/358139703_Circular_business_model_innovation_frameworks_to_foster_consumer_acceptance_A_review
- Calzolari, T., Genovese, A., Brint, A. (2022). Circular economy indicators for supply chains: A systematic literature review. *Environmental and Sustainability Indicators* **13**, 100160. DOI: 10.1016/j.indic.2021.100160
- Chiaroni, D., Vecchio, P., Peck, D., Urbinati, A., Vrontis, D. (2021). Digital technologies in the business model transition towards a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling* **168**, 105286. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105286
- Dantas, T., De-Souza, E., Destro, I., Hammes, G., Rodriguez, C., Soares, S. (2021). How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. *Sustainable Production and Consumption* **26**(4), 213–227. DOI: 10.1016/j.spc.2020.10.005
- De Padua Pieroni, M., McAloone, T., Pigosso, D. (2019). Business model innovation for Circular Economy: Integrating literature and practice into a conceptual process model. *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design* **1**(1), 2517–2526. DOI: 10.1017/dsi.2019.258
- Geissdoerfer, M., Pieroni, M., Pigosso, D., Soufani, K. (2020). Circular business models: A review. *Journal of Cleaner Production* **277**, 123741. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123741
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., Hultink, E. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production* **143**(6), 757–768. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048
- Geng, Y., Doberstein, B. (2008). Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving “leapfrog development”. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* **15**(3), 231–239. DOI: 10.3843/SusDev.15.3:6

- Gomes, G., Moreira, N., Ometto, A. (2022). Role of consumer mindsets, behaviour, and influencing factors in circular consumption systems: A systematic review. *Sustainable Production and Consumption* **32**, 1–14. DOI: 10.1016/j.spc.2022.04.005
- Gusmerotti, N., Testa, F., Corsini, F., Pretner, G., Iraldo, F. (2019). Drivers and approaches to the circular economy in manufacturing firms. *Journal of Cleaner Production* **230**, 314–327. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.044
- Kirchherr, J. (2022). Circular economy and growth: A critical review of “post-growth” circularity and a plea for a circular economy that grows. *Resources, Conservation and Recycling* **179**, 106033. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.106033
- Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling* **127**(2017), 221–232. DOI: 10.2139/ssrn.3037579
- Korhonen, A., Honkasalo, J. (2018). Seppälä Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological Economics* **143**, 37–46. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2017.06.041
- Morseletto, P. (2023). Sometimes linear, sometimes circular: States of the economy and transitions to the future. *Journal of Cleaner Production* **390**, 136138. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136138
- Murray, A., Skene, K., Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics* **140**(3), 369–380. DOI: 10.1007/s10551-015-2693-2
- Neligan, A. (2018). Digitalisation as enabler towards a sustainable circular economy in Germany. *Intereconomics* **53**(2), 101–106. DOI: 10.1007/s10272-018-0729-4
- Neligan, A., Baumgartner, R., Geissdoerfer, M., Schöggel, J.-P. (2022). Circular disruption: Digitalisation as a driver of circular economy business models. *Business Strategy and the Environment* **32**(3), 1–14. DOI: 10.1002/bse.3100
- Nikitaeva, A., Chernova, O., Molapisi, L. (2022). Smart territories as a driver for the transition to sustainable regional development and green economy. *R-Economy* **8**(2), 120–134. DOI: 10.15826/recon.2022.8.2.010
- O’Neill, D., Fanning, A., Lamb, W., Steinberger, J. (2018). A good life for all within planetary boundaries. *Nature Sustainability* **1**(2), 88–95. DOI: 10.1038/s41893-018-0021-4
- Pagoropoulos, A., Pigosso, D., McAloone, T. (2017). The emergent role of digital Technologies in the Circular Economy: A review. *Procedia CIRP* **64**, 19–24. DOI: 10.1016/j.procir.2017.02.047
- Palea, V., Santhià, C., Miazza, A. (2023) Are circular economy strategies economically successful? Evidence from a longitudinal panel. *Journal of Environmental Management* **337**, 117726. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117726
- Pratt, A. (2022). Toward circular governance in the culture and creative economy: Learning the lessons from the circular economy and environment. *City, Culture and Society* **29**, 100450, DOI: 10.1016/j.ccs.2022.100450
- Rosa, P., Sassanelli, C., Terzi, S. (2019). Circular business models versus circular benefits: an assessment in the waste from electrical and electronic equipments sector. *Journal of Cleaner Production* **231**, 940–952. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.310
- Salvador, R., Barros, M., Donner, M., Brito, P., Halog, A., De Francisco, A. (2022). How to advance regional circular bioeconomy systems? Identifying barriers, challenges, drivers, and opportunities. *Sustainable Production and Consumption* **32**, 248–269. DOI: 10.1016/j.spc.2022.04.025
- Santa-Maria, T., Vermeulen, W., Baumgartner, R. (2022). The circular sprint: Circular business model innovation through design thinking. *Journal of Cleaner Production* **362**, 132323. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132323
- Serrano-Bedia, A.-M., Perez-Perez, M. (2022). Transition towards a circular economy: A review of the role of higher education as a key supporting stakeholder in Web of Science. *Sustainable Production and Consumption* **31**, 82–96. DOI: 10.1016/j.spc.2022.02.001

-
- Stefanakis, A., Nikolaou, I. (2022). *Circular Economy and Sustainability*. Vol. 1. Management and Policy. Elsevier. DOI: 10.1016/C2019-0-00505-5
- Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., Yu, X. (2013). A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production* **42**, 215–227. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.11.020
- Tedesco, M., Simioni, F., Sehnem, S., Soares, J., Junior, L. (2022). Assessment of the circular economy in the Brazilian planted tree sector using the ReSOLVE framework. *Sustainable Production and Consumption* **31**, 397–406. DOI: 10.1016/j.spc.2022.03.005
- Villarán, M., Merel, S. (2020). Paradigm shifts and current challenges in wastewater management. *Journal of Hazardous Materials* **390**, 122139. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122139

Приложение 1

Состав кластеров и расстояния включения регионов в кластеры

Кластер 1		Кластер 2	
	Объединение		Объединение
Липецкая область	0,369217	Белгородская область	0,178386
Вологодская область	0,779204	Ивановская область	0,193558
Челябинская область	0,350269	Курская область	0,109044
Республика Тыва	0,320241	Орловская область	0,154357
Республика Хакасия	0,373378	Рязанская область	0,496229
Иркутская область	0,585527	Смоленская область	0,125215
Кластер 3		Тульская область	0,125830
		Ярославская область	0,151254
		Республика Карелия	0,176796
	Объединение	Республика Коми	0,538127
Костромская область	0,434540	Архангельская область	0,245284
Тверская область	0,652453	Ленинградская область	0,095979
Республика Калмыкия	0,439175	Мурманская область	0,540459
Республика Дагестан	0,413099	Новгородская область	0,112880
Кабардино-Балкарская Республика	0,184921	Волгоградская область	0,103021
Республика Северная Осетия – Алания	0,503752	Республика Ингушетия	0,370476
Ставропольский край	0,262563	Чеченская Республика	0,470782
Кластер 4		Республика Башкортостан	0,347407
		Республика Мордовия	0,218480
		Пермский край	0,051933
	Объединение	Кировская область	0,169998
Брянская область	0,263494	Нижегородская область	0,293023
Владимирская область	0,244868	Оренбургская область	0,527863
Воронежская область	0,125507	Самарская область	0,104455
Калужская область	0,132912	Саратовская область	0,141609
Московская область	0,203317	Курганская область	0,257918
Тамбовская область	0,072029	Свердловская область	0,184568
г. Москва	0,588467	Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	0,194443
Калининградская область	0,300151	Алтайский край	0,191569
Псковская область	0,169751	Красноярский край	0,611142
г. Санкт-Петербург	0,389161	Омская область	0,138508
Республика Адыгея	0,284114	Республика Бурятия	0,231975
Краснодарский край	0,370536	Забайкальский край	0,625607
Астраханская область	0,111802	Амурская область	0,186226
Ростовская область	0,228876		
Республика Марий Эл	0,266261		
Республика Татарстан	0,135543		
Удмуртская Республика	0,170408		
Чувашская Республика	0,244152		
Пензенская область	0,108212		
Ульяновская область	0,291888		
Тюменская область	0,085910		

Кластер 1		Кластер 2	
	Объединение		Объединение
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,150206		
Республика Алтай	0,160977		
Новосибирская область	0,131542		
Томская область	0,071790		
Республика Саха (Якутия)	0,866503		
Камчатский край	0,253049		
Приморский край	0,030116		
Хабаровский край	0,210384		
Магаданская область	0,238940		
Сахалинская область	0,336568		
Еврейская автономная область	0,121272		
Чукотский автономный округ	0,052745		

Источник: составлено авторами.