

## ЗЕЛЕНАЯ ЭКОНОМИКА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 330.3

*Н. В. Пахомова, К. К. Рихтер, М. А. Ветрова*

### ПЕРЕХОД К ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКЕ И ЗАМКНУТЫМ ЦЕПЯМ ПОСТАВОК КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ\*

В статье анализируется процесс формирования циркулярной экономики и отвечающих ей замкнутых цепей поставок в рамках поэтапного перехода к современному варианту устойчивого социально-экономического развития. Раскрывается роль циркулярной экономики в ресурсосбережении, минимизации отходов и сокращении давления на окружающую среду при одновременном достижении значимых экономических и социальных результатов. Объектом специального внимания являются барьеры на пути развития циркулярной экономики в РФ, а также существующие в этой области возможности для обоснования стратегии перехода от доминирующей сегодня линейной модели экономики к циркулярной. Проводимое в статье исследование различных бизнес-моделей циркулярной экономики способствует пониманию той роли, которую может играть каждая отдельная компания в трансформации линейной экономики в более устойчивую циркулярную модель. В данном контексте идентифицируются перспективы применения циркулярных бизнес-моделей в ряде секторов российской экономики и возможности их внедрения в практическую деятельность компаний. Библиогр. 34 назв. Ил. 1. Табл. 4.

*Ключевые слова:* циркулярная экономика, замкнутые цепи поставок, управление отходами, рециклирование, ремануфактуринг, циркулярные бизнес-модели, индекс развития циркулярной экономики, институциональные барьеры.

---

**Надежда Викторовна ПАХОМОВА** — доктор экономических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9; n.pahomova@spbu.ru

**Кнут Курт РИХТЕР** — доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой экономики предприятия и предпринимательства, Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9; k.rihter@spbu.ru

**Мария Александровна ВЕТРОВА** — аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9; st020342@student.spbu.ru

**Nadezda V. PAKHOMOVA** — Doctor of Economics, Professor, St Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation; n.pahomova@spbu.ru;

**Knut K. RICHTER** — Professor, Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Head of the Chair of Business Economics and Entrepreneurship of the St Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation; k.rihter@spbu.ru

**Mariya A. VETROVA** — Postgraduate, St Petersburg State University, Universitetskaya nab., 7–9, St. Petersburg, 199034, Russian Federation; st020342@student.spbu.ru

\* Статья подготовлена при частичной финансовой поддержке в рамках международной исследовательской лаборатории «Эффективность экономики и окружающая среда» (шифр ИАС СПбГУ 15.61.208.2015).

## TRANSITION TO CIRCULAR ECONOMY AND CLOSED-LOOP SUPPLY CHAINS AS DRIVER OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The paper analyzes the formation process of the circular economy and of the related closed-loop supply chains within the framework of the transition towards a contemporary sustainable socio-economic development. It describes the role the circular economy plays in reducing resource use, waste production and environmental pollution as well as in contributing to significant economic and social progress. Furthermore, on one side, the attention is focused on barriers to the development of the circular economy in the Russian Federation. On the other side, in the paper the potentials to develop transition strategies to replace the current linear economic model by the circular one are provided. The study highlights the ways of how companies can organize their business to move from the linear model to a more sustainable one, also by the gradual implementation of closed-loop supply chains. Finally, the perspectives of the application of the circular economy principles in several branches and companies are characterized. Refs 34. Fig. 1. Tables 4.

*Keywords:* circular economy, closed-loop supply chains, waste management, recycling, remanufacturing, circular business models, circular economy development index, institutional barriers.

### Введение

Доминирующая до настоящего времени во многих странах линейная модель экономики, базирующаяся на принципе «take, make, waste», была основой социально-экономического развития со времен промышленной революции. Однако нарастающий дефицит сырьевых и энергетических ресурсов, волатильность цен на товарных рынках, усиливающееся загрязнение окружающей среды, включая массивированные выбросы парниковых газов, повышение температуры и загрязнение различными отходами морских акваторий, угрожающие необратимыми климатическими изменениями, рост площадей, занимаемых полигонами производственных и бытовых отходов, так же как и неорганизованных свалок, приводящий к длительному выведению из хозяйственного оборота ценных в хозяйственном отношении территорий, и т. п. подтолкнули бизнес, политиков, научное сообщество, простых граждан к переосмыслению традиционной модели экономики. Ныне все большее внимание привлекается к концепции циркулярной экономики, в основе которой лежит цепочка «take, make, reuse».

Под циркулярной экономикой специалистами понимается экономика, которой свойствен восстановительный и замкнутый характер [Ellen MacArthur Foundation, 2013]. Для нее характерна минимизация потребления первичного сырья и объемов перерабатываемых ресурсов, которая сопровождается снижением отходов, направляемых на захоронение, при одновременном сокращении площадей, занимаемых соответствующими полигонами и неорганизованными свалками.

В литературе выделяются три ключевые особенности, присущие циркулярной экономике: во-первых, усиленный контроль за запасами природных ресурсов и соблюдением устойчивого баланса возобновляемых ресурсов для сохранения и поддержания на неистощимом уровне природного капитала; во-вторых, оптимизация процессов потребления путем разработки и распространения продукции, комплектующих и материалов, отвечающих самому высокому уровню их повторного использования; в-третьих, выявление и предотвращение негативных внешних эффектов текущей производственной деятельности с целью повышения эффективности экономической и экологической систем [Ellen MacArthur Foundation,

2015]. В результате при поэтапном переходе к циркулярной экономике базовый принцип линейной модели «take, make, waste» трансформируется в принцип «take, make, reuse», что поднимает на новый уровень экоэффективность, одновременно предотвращая омертвление значительных объемов ресурсов при захоронении на полигонах отходов, а также отслужившей продукции. Циркулярная экономика тем самым, по сути, обеспечивает поэтапное воспроизведение лежащих в самой природе принципов ресурсной эффективности и безотходности, возвращая человека на новом технологическом витке к повсеместному воспроизведению в производственных и потребительских циклах используемых в экосистемах принципов. Все это в полной мере корреспондирует с таким ключевым направлением Четвертой промышленной революции, как формирование «природоподобных» технико-технологических систем<sup>1</sup>.

Основу циркулярной экономики образуют замкнутые цепи поставок, под которыми понимаются цепочки поставок, обеспечивающие максимизацию добавленной стоимости в течение всего жизненного цикла продукта с динамическим восстановлением в рамках относительно длительных временных интервалов ценностей различных типов и объемов [Guide, Wassenhove, 2009]. В идеале формирование замкнутых цепей поставок должно приводить к соблюдению принципа нулевых отходов, а распространение подобных цепочек на значительную часть отраслей, в свою очередь, приблизит человечество к формированию циркулярной экономики в целом. Важно учитывать, что циркулярная экономика не ограничивается только решением задачи переработки отходов в конце жизненного цикла продукции; она дает толчок для технологических, организационных и социальных инноваций по всей цепи создания стоимости, начиная с экологического дизайна продукции и предотвращения образования отходов [Ellen MacArthur Foundation, 2015]. Таким образом, для повышения общественного благосостояния в циркулярной экономике применяются принципиально новые бизнес-модели, характеризующиеся не только высокими конечными результатами, но и низкими материальными, энергетическими и экологическими затратами [Ghisellini et al., 2014].

В этих условиях все больше компаний признают не только полезным, но и необходимым разработку и внедрение бизнес-моделей, связанных с повторным использованием продукции и материалов [Lacy, Rutqvist, 2015], которые ранее в конце своего жизненного цикла превращались в отходы, а теперь могут использоваться как источники дополнительных ресурсов. Применение циркулярных бизнес-моделей в различных отраслях приводит к существенным экологическим, экономическим и социальным выгодам. Так, их внедрение в автомобилестроении, по оценкам экспертов создаст возможность сократить потребление сырьевых ресурсов на 98 % [Smith et al., 2015]; обеспечить экономию энергии — на уровне 83 %, снижение стоимости готовой продукции — до 40 % и выбросов углекислого газа — до 87 %<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Кобяков А. Вызовы XXI века: как меняет мир четвертая промышленная революция. URL: <http://www.rbc.ru/opinions/economics> (дата обращения: 07.02.2017).

<sup>2</sup> Automotive Parts Remanufacturing Market: Global Industry Analysis and Forecast 2016–2024. Persistence Market Research, 2015. URL: <http://www.persistencemarketresearch.com/market-research/automotive-parts-remanufacturing-market.asp> (дата обращения: 24.02.2017).

Что касается дополнительных рабочих мест, то, например, для США прогнозируемая цифра составляет в этом случае 180 тыс. человек<sup>3</sup>.

Признавая существенное значение циркулярной экономики для решения обостряющихся ресурсно-экологических проблем, во многих странах, прежде всего развитых, уже сегодня предпринимаются значительные усилия по использованию ее принципов; к числу таких стран относятся Нидерланды, Япония, Австрия, Германия и Великобритания [Ghisellini et al., 2014]. Правительство Китая принимает циркулярную экономику как жизненно важную стратегию для достижения целей устойчивого развития [George et al., 2015], при котором использование природных ресурсов, приоритеты инвестиционной политики и научно-технического развития, соответствующие институциональные изменения согласованы друг с другом и призваны укреплять нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений<sup>4</sup>. К развитию концепции циркулярной экономики присоединились участники ряда неправительственных инициатив и организаций, к числу которых относятся фонд Эллен Макартур, организация *the Dutch Circle*, исследовательская программа Европейского союза *Horizon 2020* и др. Все это свидетельствует о том, что успешность перехода от линейной модели экономики к циркулярной определяется, с одной стороны, усилиями, реализуемыми на государственном уровне, в том числе в форме законодательных инициатив [Ellen MacArthur Foundation, 2015], а с другой — мерами по разработке и практическому применению циркулярных бизнес-моделей компаниями [Van Renswoude, Wolde, Joustra, 2015].

Существенное внимание к проблеме циркулярной экономики проявляют и представители научного сообщества. Это подтверждается большим количеством исследований, научных отчетов, обзоров литературы в зарубежных изданиях. В России данная проблематика не относится к числу активно изучаемых, что отражается и в обзорах публикаций на этот счет в зарубежной журнальной периодике [Ghisellini, Cialani, Ulgiati, 2016]. Среди российских авторов, занимающихся данной проблематикой, можно отметить [Сергиенко, 2016; Сергиенко, Буряк, 2015]; вместе с тем часть исследователей анализирует не российский, а зарубежный опыт [Али, 2015].

Обращаясь к истокам научного осмысления данной проблематики, отметим, что впервые понятие и концепция циркулярной экономики на систематической основе стали упоминаться в литературе 1960-х годов. В 1966 г. американский экономист К. Боулдинг выдвинул теорию Земли как космического корабля. «Земля, — утверждал автор, — превратилась в единственный космический корабль, на котором нет неограниченных резервуаров, поэтому человек должен найти свое место в циклической экологической системе» [Boulding, 1966]. Опубликование в 1972 г. Д. Медоузом с соавторами работы «Пределы роста» [Meadows et al., 1972] стало очередной вехой в разработке концепции циркулярной экономики. К числу основных идей авторов, в частности, относилась необходимость разработки и изготовления продукции для эффективного повторного использования и рециклирования. В конце

---

<sup>3</sup> Automotive Recycling Industry. Environmentally Friendly, Market Driven, and Sustainable. The Alliance of Automobile Manufacturers, 2015. URL: [www.autoalliance.org](http://www.autoalliance.org) (дата обращения: 24.02.2017).

<sup>4</sup> Электронная энциклопедия Wikipedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable\\_development](https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_development) (дата обращения: 24.02.2017).

1980-х годов усилиями группы ученых (У. Стахилем, М. Браунгартом и У. Макдоно) была возрождена идея функционирования экономики как замкнутой цепи. Эти авторы также исследовали ее влияние на конкурентоспособность компаний, экономию ресурсов, создание новых рабочих мест и сокращение отходов [McDonough, Braungart, 2002; Stahel, Reday-Mulvey, 1981]. В 1990-х годах к попыткам дать четкое определение понятия «циркулярная экономика» присоединился один из известных экономистов-экологов Дэвид Пирс [Andersen, 2007]. Позже были выдвинуты близкие по значению концепции «от колыбели до колыбели» (*Cradle-to-Cradle*) и промышленной экологии (*Industrial ecology*), также оказавшие влияние на выработку современных представлений о циркулярной экономике [Sherwin, 2013].

Для России в практическом плане переход к модели циркулярной экономики является остро актуальным, прежде всего ввиду высоких объемов образующихся отходов, которые нередко существенно превышают параметры, характерные для развитых зарубежных стран. Так, в 2015 г. в стране было образовано в общей сложности 5 060,2 млн т отходов, из которых около 60 млн т составляли твердые коммунальные отходы (ТКО)<sup>5</sup>. Для сравнения, в том же году в Германии общий объем отходов составил 373 млн т, в том числе ТКО — 50 тыс. т<sup>6</sup>. Кроме того, в РФ недопустимо низким является уровень переработки отходов, который в случае ТКО, по данным министра природных ресурсов и экологии С. Е. Донского, составляет лишь 8%<sup>7</sup>, в то время как в Германии перерабатывается около 99% всех ТКО<sup>8</sup>.

С 2015 г. в связи с принятием Федерального закона «О внесении изменений в Федеральный закон “Об отходах производства и потребления”» (№ 458-ФЗ от 29.12.2014) в стране стали предприниматься более энергичные усилия по формированию эффективной системы обращения с отходами. В их числе — расширение перечня возможных форм обращения с отходами для предприятий, включая организацию собственных объектов инфраструктуры и заключение договора с региональным оператором. В ходе реализации данного закона и ряда других подзаконных актов в 2015 г. по 36 наименованиям товаров были установлены нормативы утилизации отслужившей продукции на уровне от 0 до 30%, введенные только для тех групп товаров, по которым в стране уже создана и успешно функционирует инфраструктура утилизации отходов. Тем не менее указанные выше и ряд других реализуемых в настоящее время мер могут быть расценены лишь как первые шаги в нужном направлении, и они недостаточны для полноценного функционирования циркулярной экономики в РФ. Принятые в стране к реализации нормативы

---

<sup>5</sup> Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/environment/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment/) (дата обращения: 21.01.2017).

<sup>6</sup> Eurostat. URL: <http://appso.eurostat.ec.europa.eu/> (дата обращения: 21.01.2017). Вместе с тем в определенной мере большой объем образующихся отходов обусловлен и спецификой их учета и классификации в РФ. Речь идет об отходах 5-го, минимального класса опасности, включая вскрышные и вмещающие породы, сопровождающие добычу открытым способом месторождений полезных ископаемых, и т. п., на долю которых приходится до 90% от общего объема образующихся отходов и которые не оказывают значимого воздействия на состояние окружающей среды. На это обстоятельство обращалось внимание и на прошедшем 27 декабря 2016 г. заседании Госсовета по вопросу «Об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений» в выступлении А. Н. Шохина. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/53602> (дата обращения: 21.01.2017).

<sup>7</sup> См.: <http://kremlin.ru/events/president/news/53602> (дата обращения: 21.01.2017).

<sup>8</sup> IFC. URL: <http://www.ifc.org> (дата обращения: 21.01.2017).

утилизации существенно отстают от аналогичных показателей развитых стран, что частично объясняется более поздними сроками перехода к современной системе обращения с отходами. Так, согласно директивам ЕС по управлению отходами, некоторые виды продукции, например автомобильные аккумуляторы, должны быть собраны и утилизированы в 100 %-ном объеме (Директива 2000/53/ЕС об отслуживших транспортных средствах, Директива 2012/19/ЕС об электронном оборудовании). Вместе с тем в России в 2015 г. по сравнению с 2014 г. сократились как общие природоохранные затраты, так и инвестиции в основной капитал, направляемые на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, на 7,5 и 16,3 % (в сопоставимых ценах) соответственно<sup>9</sup>, что не может не затруднить реализацию намеченных мер. Между тем в России требуется создание комплексной отрасли по утилизации отходов и центра по эффективному регулированию ее функционирования, встроенной в систему других мер, которые должны служить поэтапному переходу к циркулярной экономике.

Наряду с остротой проблемы создания благоприятных условий для формирования циркулярной экономики в части современных схем обращения с отходами, в РФ не уделяется необходимого внимания и другим инструментам, обслуживающим поэтапное формирование рассматриваемой новой модели экономики. В их числе — экологический дизайн продукции, инновационные циркулярные бизнес-модели, глобальные замкнутые цепи поставок [Planing, 2015]. В связи с этим в статье решаются следующие задачи. Во-первых, проводится анализ передового опыта поэтапного перехода к реализации принципов циркулярной экономики, а также соответствующие этой экономике базовые бизнес-модели. Во-вторых, предложен индекс уровня развития циркулярной экономики и с его помощью проведена оценка текущего уровня развития этой модели в России, а также раскрыты основные проблемы и препятствия на пути ее формирования. В-третьих, выявлены возможности и перспективы использования циркулярных бизнес-моделей в ряде отраслей российской экономики. В-четвертых, на основе проведенного анализа сформулированы выводы и даны итоговые рекомендации для поэтапного перехода от линейной модели экономики к циркулярной.

Решение поставленных в статье задач базируется на применении ряда теоретико-методологических подходов: современного варианта концепции устойчивого социально-экономического развития, теории внешних (экологических и социальных) эффектов, концепции природно-индустриальных циклов, методов институционального и экономико-правового анализа. Для оценки сравнительного уровня развития циркулярной экономики по различным странам, отраслям и предприятиям использован индексный метод, включая разработку авторами статьи индекса развития циркулярной экономики. Для выявления потенциала и потребностей в развитии циркулярной экономики, в том числе в Российской Федерации, использованы статистические методы анализа данных.

---

<sup>9</sup> Охрана окружающей среды в России: стат. сб. / Федеральная служба государственной статистики (Росстат), 2016. URL: [http://www.gks.ru/free\\_doc/doc\\_2016/ohrana\\_2016.pdf](http://www.gks.ru/free_doc/doc_2016/ohrana_2016.pdf) (дата обращения: 21.01.2017).

## 1. Передовая практика применения модели циркулярной экономики в развитых странах и зарубежных компаниях

Теоретическая основа реализуемой сегодня на практике модели циркулярной экономики была представлена фондом Ellen MacArthur. Как вытекает из этой модели, циркулярная экономика может развиваться на основе разнообразных подходов в промышленности и сельском хозяйстве с учетом создания замкнутых цепей поставок. В ее рамках применительно к промышленности, на которой сосредоточено основное внимание авторов настоящей статьи, последовательно интегрируются следующие процессы: разработка месторождений полезных ископаемых, заготовка и переработка природного сырья, производство комплектующих, промежуточной и готовой продукции, ее транспортировка и сбыт, конечное потребление, а также сбор отслуживших изделий и выполнение последующих восстановительных операций (рис. 1).

В промышленности в соответствии с этой моделью замкнутые цепи поставок формируются на базе следующих основных подходов:

1) техническое обслуживание (*maintain*) — эффективный способ сохранения или восстановления продукции до желаемого уровня производительности с целью ее защиты от дальнейшего повреждения и продления жизненного цикла, который включает в себя диагностику и ремонт [Ajukumar, Gandhi, 2007];

2) повторное использование продукции (*reuse of goods*) — продукт использует повторно для первоначальных или новых целей в исходном виде либо с некоторыми изменениями и улучшениями [Amelia et al., 2009];

3) восстановительный ремонт продукции и/или восстановление компонентов, (*refurbishment, remanufacturing*) отслужившей продукции, а именно:

- восстановительный ремонт продукции — процесс восстановления товара для приведения его в рабочее состояние путем замены или ремонта основных узлов, которые вышли из строя, а также косметическая реставрация для обновления внешнего вида изделия;
- восстановление компонентов — процесс разборки и восстановления продукта на уровне его компонентов (при этом подлежащие восстановлению детали изымаются из бывшего в использовании продукта, проходят чистку, ремонт и встраиваются в новый продукт, при этом готовый продукт позиционируется «как новый») [Gray, Charter, 2007];
- переработка отходов и отслужившей продукции / рециклирование (*recycling*) — любые операции восстановления, с помощью которых отходы и отслужившая продукция перерабатываются в материалы, ресурсы, вещества для первоначальных или иных целей; основные виды переработки:
  - повышенная переработка (*upcycling*) — преобразование материалов и отходов в новые материалы более высокого качества;
  - функциональная переработка (*functional recycling*) — восстановление материалов для первоначальной цели или других целей, за исключением получения энергии;
  - пониженная переработка (*downcycling*) — преобразование материалов и отходов в новые материалы более низкого качества [Braungart, McDonough, 2010].

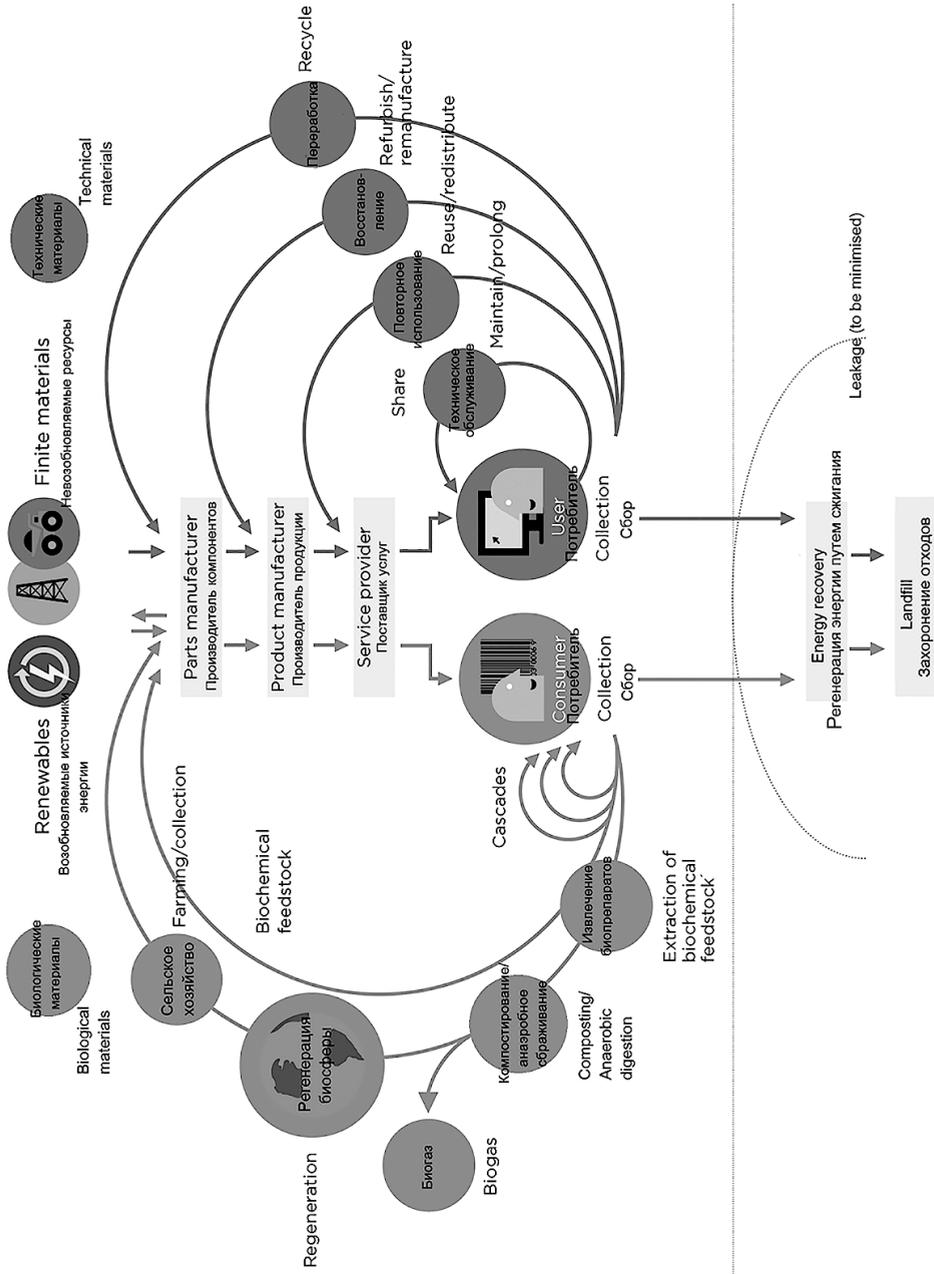


Рис. 1. Теоретическая модель циркулярной экономики  
 Источник: [Ellen MacArthur Foundation, 2013].

Каждый из перечисленных подходов применяется на практике, прежде всего в развитых странах. Например, техническое обслуживание и ремонт используются для продления жизненного цикла автомобилей, бытовой техники и электроники, станков и оборудования. Наряду с традиционными при этом появляются и новые виды бизнеса. Так, компания *Patagonia* осуществляет ремонт изношенной верхней одежды собственного производства или ее поврежденных элементов в течение 10 рабочих дней, что позволяет продлить срок ее использования по прямому назначению. При повторном использовании продукции она активно применяется для упаковочных материалов, бутылок, паллет и поддонов, картриджей для принтеров и тонеров, книжной продукции, игрушек и одежды. Компания *Xerox*, например, реализует технологии повторной заправки картриджей для печати и многократное их использование, а также инновационные разработки бумаги, с которой стираются чернила в течение 24 часов с целью ее повторного использования вместо утилизации. Восстановительный ремонт, а также ремануфактуринг (*remanufacturing*), получающие в последние годы все большее распространение [Пахомова, Рихтер, Ветрова, 2016], могут использоваться в автомобильной промышленности, машиностроении, авиационной и аэрокосмической промышленности, производстве бытовой техники и электроники. Примером может служить программа *Cat Reman* компании *Caterpillar*, в рамках которой восстанавливаются материалы с помощью дифференцированной технологии и используются экологически сбалансированные методы для полного восстановления деталей тяжелой техники до состояния новых. Вместе с тем, поскольку далеко не каждый продукт подлежит ремонту, восстановлению или повторному использованию, оставшаяся часть продукции может быть переработана и возвращена в производственный цикл в виде сырья или материалов. Так, разработки компании *BMW* направлены на рециклирование и повышение скорости демонтажа автомобиля и сортировки материала, разработаны технологии быстрого извлечения автомобильных жидкостей, отключения подушек безопасности, и все элементы и материалы для качественной сортировки имеют специальную маркировку.

Анализ предлагаемых в данной схеме подходов позволяет заключить, что все еще распространенные в ряде стран технологии по сжиганию отходов и захоронению продуктов сгорания не относятся к процессам формирования циркулярной экономики. Объясняется это тем, что подобные технологии, как правило, не способствуют сохранению ресурсов и энергии, а, наоборот, приводят к их омертвлению. Кроме того, их применение сопровождается выбросами вредных веществ, включая канцерогены и парниковые газы, а последующее захоронение продуктов сгорания приводит к загрязнению почвы и грунтовых вод. С учетом этих обстоятельств планируемый вариант разрешения проблемы с отходами путем строительства в ряде регионов страны (в Москве и Татарстане) мусоросжигающих предприятий нуждается в дополнительном обсуждении. Конкретно речь идет о проекте госкорпорации «Ростех» по возведению пяти заводов по сжиганию твердых коммунальных отходов (ТКО) с одновременной выработкой электроэнергии в рамках проекта «Чистая страна»<sup>10</sup>. Правда, как утверждается, при этом предусмотрено

<sup>10</sup> Мусор разожгут паспортом. Заводы «Ростеха» станут нацпроектом «Чистая страна». 21.12.2016. URL: [http://www.kommersant.ru/doc/3176523?utm\\_source=kommersant&utm\\_medium=all\\_levo&utm\\_campaign=vybor](http://www.kommersant.ru/doc/3176523?utm_source=kommersant&utm_medium=all_levo&utm_campaign=vybor) (дата обращения: 24.02.2017).

применение инновационной технологии термического обезвреживания, позволяющей, в случае ее комбинирования с отдельным сбором мусора, разрешить вышеуказанные проблемы. Вместе с тем вывод о том, что эти проекты могут рассматриваться как альтернатива полигонному захоронению, для которого, в частности, характерно неконтролируемое загрязнение атмосферного воздуха и подземных вод, на наш взгляд, должны подтвердить независимая государственная, а также общественная экспертизы.

Возвращаясь к вопросу о значении поэтапного формирования циркулярной экономики для достижения целей устойчивого развития, отметим, что это воздействие носит комплексный характер, отражаясь и на экономике в целом, и на состоянии окружающей среды, и на процессах потребления [Scott, 2015]. Так, экономические выгоды выражаются в сокращении потребления сырьевых и энергетических ресурсов, и как результат — в снижении спроса на них и волатильности цен на ресурсных рынках. Результатом формирования новых секторов циркулярной экономики также является увеличение числа рабочих мест [Beuren et al., 2013]. Выигрыш компаний от внедрения циркулярных бизнес-моделей заключается в повышении инновативности и дополнительных конкурентных преимуществах, в возникновении новых источников получения прибыли, в повышении лояльности клиентов и усилении взаимосвязей с партнерами по всей цепочке создания стоимости [Firnkorn, Müller, 2012; Shafiee, Stec, 2014]. Для потребителя развитие циркулярной экономики означает потребление экологически чистых продуктов и в ряде случаев снижение их стоимости. Существенное воздействие циркулярная экономика оказывает на окружающую среду также благодаря снижению выбросов CO<sub>2</sub>, сокращению площадей свалок и полигонов захоронения отходов, уменьшению потребления ограниченных ресурсов. Если рассматривать эффекты циркулярной экономики в цифрах, то, например, по оценкам TNO, в целом годовой эффект от циркулярной экономики в Нидерландах составляет 7,3 млрд евро и 54 000 дополнительных рабочих мест<sup>11</sup>. В Великобритании, согласно отчету WRAP, развитие циркулярной экономики будет способствовать созданию 500 000 рабочих мест в стране, а экономические выгоды при этом составят 12 млрд евро<sup>12</sup>. В одной только Швеции благодаря развитию циркулярной экономики возможно снижение выбросов CO<sub>2</sub> на 70 %<sup>13</sup>.

Нельзя оставить без внимания и «проигравших» от развития циркулярной экономики. Понятно, что чем больше товаров будет повторно использовано или восстановлено, тем меньше будет спрос на новые товары, что приведет к потере доходов их производителей, а также поставщиков сырья, предприятий логистики и т.п. Совокупность положительных и отрицательных эффектов, характерных для модели циркулярной экономики, представлена в табл. 1.

<sup>11</sup> Opportunities for a circular economy in the Netherlands, 2013. URL: <https://www.tno.nl/media/8551/tno-circular-economy-for-ienm.pdf> (дата обращения: 23.01.2017).

<sup>12</sup> WRAP, Employment and the circular economy: Job creation in a more resource efficient Britain, 2015. URL: <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Employment%20and%20the%20circular%20economy%20summary.pdf> (дата обращения: 23.01.2017).

<sup>13</sup> The Circular Economy and Benefits for Society, Interim Report, Club of Rome with support from MAVA Foundation and Swedish Association of Recycling Industries, 2015. URL: <http://www.clubofrome.org/wp-content/uploads/2016/03/The-Circular-Economy-and-Benefits-for-Society.pdf> (дата обращения: 23.01.2017).

Таблица 1. Внешние эффекты от внедрения модели циркулярной экономики

Положительные внешние эффекты	Отрицательные внешние эффекты
Снижение нагрузки от отходов на окружающую среду, сокращение полигонов	Дополнительное потребление ресурсов и энергии при рециклинге отходов и продукции
Сокращение добычи исчерпаемых полезных ископаемых	Снижение доходов ресурсодобывающих стран
Создание дополнительных рабочих мест в местах формирования циркулярной экономики (в ЕС и других развитых странах)	Сокращение рабочих мест в развивающихся ресурсодобывающих странах и отдельных секторах экономики

Несмотря на наличие отрицательных эффектов, выгоды от развития циркулярной экономики существенно выше, поэтому правительства многих стран разрабатывают специальные стратегии и применяют меры по их реализации на национальном, региональном и местном уровнях. Например, в ЕС, наряду с межгосударственными решениями и документами, инициативные решения принимаются отдельными государствами и частными лицами. К таким инициативам относятся следующие:

- Пакет ЕС по циркулярной экономике, опубликованный в 2014 г., который включает в себя общую коммуникацию (COM 2014)398), предложение о внесении поправок в аспекты шести директив ЕС по отходам (COM(2014)397), а также предусматривает меры по устойчивости зданий (COM(2014)445), экологической занятости (COM(2014)446) и другие экологические действия (COM (2014) 440).
- Реализация дорожной карты для ресурсосбережения в ЕС (COM(2011)571), Седьмая программа действий ЕС по окружающей среде — 7th EAP (Decision No 1386/2013/EU) и рекомендации для платформы по ресурсоэффективности Европы (EREP).
- Пролонгация действия на период после 2015 г. программы развития и разработки глобальных целей в области устойчивого развития.
- Реализация стратегии «Европа 2020», в том числе соответствующих дорожных карт и флагманских инициатив по повышению эффективности использования ресурсов, (Innovation Union, Industrial Policy, Skills and Jobs).
- Участие в Союзе G7 (G7 Alliance) по повышению эффективности использования ресурсов.

Эффект от взаимодействия Пакета ЕС по циркулярной экономике и инициатив, относящихся к политике в области ресурсоэффективности, биоэкономики, зеленой экономики, устойчивого развития и т. п., способствует снижению барьеров на пути поэтапной трансформации линейной экономики и создает возможности для развития модели циркулярной экономики. Так, одним из приоритетных направлений деятельности в рамках G7 является развитие ремануфактуринга и экологического дизайна продукции, которые являются ключевыми компонентами циркулярной экономики. Одна из основных целей Седьмой программы действий ЕС по окружающей среде — повышение в рамках этой интеграционной группировки эффективности использования ресурсов, формирование зеленой и конкурентоспособной низкоуглеродной экономики, что также в полной мере корреспондирует с задачами создания циркулярной экономики. Кроме того, Пакет по цирку-

лярной экономике способствует согласованию различных политик и ослаблению противоречий между принятыми программами и инициативами. В этот Пакет, в свою очередь, интегрирован План действий, который охватывает весь производственно-хозяйственный цикл, начиная от производства и потребления продукции и завершая утилизацией отходов и рынком вторичного сырья, а также включает изменение нормативно-правового регулирования порядка обращения с отходами с амбициозными целевыми показателями. Среди мероприятий предполагается утилизация 65 % бытовых отходов и 75 % упаковочных материалов к 2030 г., сокращение площадей свалок на 10 % и т. д. Таким образом, План действий создает основу для реализации инициатив ЕС по трансформации линейной модели экономики в циркулярную, для вовлечения широкого круга заинтересованных сторон в различных секторах и стран в рамках ЕС и за его пределами.

В связи с повышенным вниманием со стороны государства и межгосударственных органов, а также существенными выгодами, сопровождающими применение принципов циркулярной экономики, многие компании внедряют соответствующие бизнес-модели в свою практическую деятельность<sup>14</sup>. Вариант классификации этих моделей, разработанный авторами статьи, представлен в табл. 2.

Таблица 2. Бизнес-модели циркулярной экономики

Разновидности бизнес-моделей	Описание и назначение	Примеры компаний
Циркулярные поставщики (Circular suppliers)	Обеспечивает доставку поставщиком полностью перерабатываемых или био-разлагаемых ресурсов, которые лежат в основе циркулярной системы производства и потребления	Ford, Fairphone, 3D Hubs, Desso, Toyota, Cisco
Восстановление ресурсов (Resources recovery)	Способствует устранению потерь ресурсов ввиду образования отходов и повышает рентабельность производства продукции от возвратных потоков	Coca-Cola, Maersk, Michelin, Philips, Walt Disney World Resort
Платформы для обмена и совместного использования (Sharing platforms)	Служит продвижению платформ для взаимодействия между пользователями продукта, отдельными лицами или организациями	Patagonia, BlaBlacar, Nearly New Car, BMW, Drivy, Daimler, Lyft
Продление жизненного цикла продукции (Product life extension)	Обеспечивает сохранение или улучшение бывшего в употреблении продукта за счет его ремонта, модернизации, реконструкции или восстановления	Bosch, Caterpillar, Volvo, Renault, Apple, BMA Ergonomics, Michelin
Продукт как услуга (Product as a service)	Служит альтернативой покупке продукта, предоставляя его в пользование, например, через договор аренды, лизинга и т. п., что повышает стимулы для создания долговечной продукции, продления ее жизненного цикла	Rolls-Royce, Mud Jeans, De Kledingbibliotheek

Включенные в табл. 2 циркулярные бизнес-модели корреспондируют с теоретической моделью циркулярной экономики (рис. 1). Так, циркулярные поставщики

<sup>14</sup> URL: [http://www.apra-europe.org/dateien/News/News2015/APRA\\_Position\\_Paper.pdf](http://www.apra-europe.org/dateien/News/News2015/APRA_Position_Paper.pdf) (дата обращения: 24.02.2017).

необходимы для разработки, производства и распространения перерабатываемых материалов, которые предотвращают захоронение и сжигание отходов и бывшей в употреблении продукции. Технологии восстановления ресурсов помогают переработать продукцию и отходы в новое сырье и применить его в новом производственном цикле. Развитие платформ для обмена позволяет повторно использовать продукцию, а бизнес-модели, связанные с продлением жизненного цикла продукции, представляют собой промышленное восстановление, ремануфактуринг и ремонт бывшей в употреблении продукции, их отдельных узлов и деталей. Применение бизнес-модели «продукт как услуга» позволяет компаниям предоставлять продукцию своим клиентам во временное пользование с пакетом услуг, одним из которых является техническое обслуживание. При этом компании могут использовать их по отдельности или в комбинации для сокращения энергопотребления, повышения эффективности ресурсов, приращения потребительской ценности и прибыли. Вместе с тем развитие циркулярной экономики зависит не только от технологических и организационных инноваций, вводимых компаниями, но и от реализуемых законодательной и исполнительной властью мер по формированию адекватной этим инновационным процессам институциональной среды. Расширение масштабов циркулярной экономики на глобальном уровне требует сочетания бизнес-моделей, технологических достижений и инноваций, а также совместных усилий заинтересованных сторон, представителей бизнеса и государств.

## **2. Индексы оценки уровня развития циркулярной экономики как инструмент управления ее формированием в РФ**

Ранее был сделан предварительный вывод о недостаточности применения принципов циркулярной экономики в РФ. Он находит отражение и в профильных публикациях [Пахомова, Рихтер, Ветрова, 2016]. Для конкретизации этого вывода и оценки уровня развития циркулярной экономики в литературе в последние годы стали использоваться специальные индексы, которые позволяют заинтересованным сторонам определить, насколько последовательно идет процесс формирования циркулярной экономики. К таким индексам относятся следующие: The Material Circularity Indicator (MCI) [Ellen MacArthur Foundation, 2015]; The Regional Circular Economy Index System [Jia, Zhang, 2011]; The Circular Economy Performance Index [Ruiter, 2015]; A Circular Economy Index for the Consumer Goods Sector [Verbeek, 2016]. Подробный анализ перечисленных и других имеющихся в литературе индексов выходит за рамки настоящей статьи. Отметим лишь, что данные индексы, представляя научно-практический интерес, вместе с тем характеризуются определенной неполнотой в оценке совокупности элементов и процессов, протекающих в циркулярной экономике. Кроме того, в некоторых из них просматриваются элементы субъективности. Например, The Circular Economy Performance Index рассчитывается с помощью широко известных в менеджменте ключевых показателей эффективности (КПИ), а на уровне отдельных компаний — на базе данных, полученных в ходе их опроса. Однако остается неясным, какими критериями следует руководствоваться и при выборе КПИ, и при отборе компаний для интервьюирования.

Для снижения неопределенности и оценки текущего уровня развития циркулярной экономики в рамках отдельной компании или в отрасли в целом введем

индекс развития циркулярной экономики (Circular Economy Development Index, CEDI), который приведем в соответствие с теоретической моделью циркулярной экономики фонда Эллен Макартур (см. рис. 1). Для соблюдения этого требования индекс должен отражать основные элементы, которые обеспечивают замыкание цепей поставок в теоретической модели, а именно, техническое обслуживание, повторное использование, восстановление и переработку в количественных показателях объема продукции и отходов для отраслей промышленности, а также компостирование, анаэробное сбраживание, получение биохимического сырья для отраслей аграрного сектора. Это соответствует принципам построения двух из перечисленных выше индексов, а именно: The Regional Circular Economy Index System и The Material Circularity Indicator. Однако охват методов обращения с отходами и отслужившей продукцией в предлагаемом нами индексе полнее, поскольку он выходит за рамки управления только твердыми коммунальными отходами (ТКО). Благодаря этому расширяются возможности использования данного индекса для оценки, которую можно проводить на уровне как отдельной компании, так и отрасли.

Поскольку все методы обращения с отходами и отслужившей продукцией оказывают разное влияние на итоговые социальные, экономические и экологические эффекты, свойственные развитию циркулярной экономики, каждому из указанных методов при формировании индекса присвоен весовой коэффициент в зависимости от достигнутых показателей экономии ресурсов, снижения выбросов CO<sub>2</sub> и рентабельности. Отметим, попутно, что различия, связанные с экологическими и экономическими эффектами, уже нашли свое отражение в индексе The Circular Economy Performance Index, конкретно, при ранжировании 25 ключевых показателей эффективности (KPI), которые разбиты на три категории важности в зависимости от влияния на окружающую среду и эффективность бизнеса. В вводимом нами индексе (CEDI) оценка значимости методов управления отходами и отслужившей продукцией проводится для отражения степени приоритетности использования различных методов. Объясняется это тем, что итоговые экологические и экономические эффекты будут различны в зависимости от избрания того или иного способа трансформации линейной цепи поставок в замкнутую (техническое обслуживание и ремонт, восстановление или переработка отслужившей продукции и отходов). Итак, индекс развития циркулярной экономики для отраслей промышленности (CEDI) предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$CEDI = \frac{(L \times i_1 + R \times i_2 + M \times i_3 + C \times i_4) \times 100\%}{W},$$

где  $L$  — объем продукции, прошедшей техническое обслуживание (тонн или денежных единиц);  $R$  — объем повторно используемой продукции (тонн или денежных единиц);  $M$  — объем восстановленной продукции (тонн или денежных единиц);  $C$  — объем переработанной продукции и отходов (тонн или денежных единиц);  $i_{1,2,3,4}$  — коэффициент веса применяемого метода управления отходами и отслужившей продукцией для промышленных отраслей;  $W$  — общий объем отходов промышленных отраслей и продукции, вышедшей из эксплуатации (тонн или денежных единиц).

Таблица 3. Весовые коэффициенты для методов управления отходами и отслужившей продукцией в случае промышленных отраслей

Элемент циркулярной экономики	Экономия ресурсов, %	Снижение выбросов CO <sub>2</sub> , %	Рентабельность, %	Итого	Вес ( <i>i</i> <sub>1, 2, 3, 4</sub> )
Техническое обслуживание продукции ( <i>i</i> <sub>1</sub> )	<i>P</i> <sub>1</sub>	<i>P</i> <sub>2</sub>	<i>P</i> <sub>3</sub>	Σ <i>P</i> <sub><i>n</i></sub>	$i_1 = \frac{\Sigma P_n}{S_{\max}}$
Повторное использование продукции ( <i>i</i> <sub>2</sub> )	<i>K</i> <sub>1</sub>	<i>K</i> <sub>2</sub>	<i>K</i> <sub>3</sub>	Σ <i>K</i> <sub><i>n</i></sub>	$i_2 = \frac{\Sigma K_n}{S_{\max}}$
Восстановление продукции ( <i>i</i> <sub>3</sub> )	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>3</sub>	Σ <i>T</i> <sub><i>n</i></sub>	$i_3 = \frac{\Sigma T_n}{S_{\max}}$
Переработка отслужившей продукции и отходов ( <i>i</i> <sub>4</sub> )	<i>H</i> <sub>1</sub>	<i>H</i> <sub>2</sub>	<i>H</i> <sub>3</sub>	Σ <i>H</i> <sub><i>n</i></sub>	$i_4 = \frac{\Sigma H_n}{S_{\max}}$
Максимальное суммарное значение				$S_{\max} = \max(\Sigma P_n; \Sigma K_n; \Sigma T_n; \Sigma H_n)$	

Весы для используемых при построении индекса индикаторов определяются исходя из степени приоритетности того или иного метода управления отходами (табл. 3), соответствующего принципам циркулярной экономики, а также с учетом их экологических и экономических преимуществ.

Весовые коэффициенты для методов управления отходами и отслужившей продукцией учитывают сумму трех составляющих — экономию ресурсов, снижение выбросов CO<sub>2</sub> и рентабельность, так как они придают равную значимость выигрышу по каждому из трех показателей. Если, например, вместо экономии ресурсов и снижения выбросов CO<sub>2</sub> будет наблюдаться их рост, то такая циркулярная экономика потеряет свой основной смысл — снижение давления на окружающую среду. Аналогично, при неудовлетворительных результатах по рентабельности бизнес не будет внедрять представленные подходы в свою деятельность. Индекс CEDI изменяется от 0 до 100 %, и чем ближе он приближается к 100 %, тем выше уровень развития циркулярной экономики. С помощью предложенного метода и с учетом возможной вариации весов можно оценить уровень развития циркулярной экономики и в отдельной компании, и в отрасли.

Оценим с помощью индекса CEDI степень эффективности действующего в РФ порядка обращения с ТКО и сопоставим его с показателями, характерными для развитых стран на примере Германии. Как уже частично отмечалось ранее, в РФ в 2015 г. было накоплено 60 млн т ТКО, отправлено на свалки, полигоны 56,4 млн т, переработано 3,6 млн т<sup>15</sup>. С учетом указанных параметров в России уровень развития циркулярной модели экономики в области управления ТКО, оцененный с помощью введенного нами индекса, составит:

$$CEDI = \frac{(3,6 \times 1) \times 100\%}{60} = 6\%.$$

<sup>15</sup> IFC. URL: <http://www.ifc.org>. (дата обращения: 24.02.2017).

Расчет весовых коэффициентов для применяемого метода обращения с ТКО представлен в табл. 4.

В 2015 г. в Германии было накоплено 50,064 млн т ТКО, отправлено на полигоны 0,5 млн т, переработано 23,53 млн т, компостировано 8,51 млн т, остальные 35 % сжигались<sup>16</sup>. Таким образом, в этой стране уровень развития циркулярной модели в области управления ТКО составит:

$$CEDI = \frac{(23,53 \times 1 + 8,51 \times 0,47) \times 100\%}{50,064} = 55\%.$$

Таблица 4. Расчет весового коэффициента для применяемого в РФ метода обращения с ТКО

Элемент циркулярной экономики в области обращения с ТКО	Экономия ресурсов, %	Снижение выбросов CO <sub>2</sub> , %	Рентабельность, %	Итого, %	Вес (i <sub>1</sub> , i <sub>2</sub> )
Переработка ТКО (i <sub>1</sub> )	90	86	80	256	256/256 = 1
Компостирование и анаэробное сбраживание (i <sub>2</sub> )	36	30	55	121	121/256 = 0,47
Максимальное суммарное значение (S <sub>max</sub> )				256 %	

Составлено на основе: *Smith V. et al.* The Impact of Automotive Product Remanufacturing on Environmental Performance // *Procedia CIRP*. 2015. Vol.29. P.774–779; Automotive Parts Remanufactures Association APRA. URL: <http://apra.org/> (дата обращения: 24.02.2017); *Ellen MacArthur Foundation.* Delivering the Circular Economy a Toolkit for Policymakers. 2015. URL: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation\\_PolicymakerToolkit.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_PolicymakerToolkit.pdf) (дата обращения: 21.02.2017); *Hogg D.* Costs and Benefits of Composting. Anaerobic Digestion. URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/presentations/hogg.pdf> (дата обращения: 24.02.2017).

При этом стоит отметить, что такой разрыв в уровнях развития циркулярной экономики в РФ и Германии, а также в ЕС в целом можно наблюдать не только в части управления ТКО, но и по другим видам отходов. Установленные в 2015 г. в России нормы утилизации отслужившей продукции (согласно Федеральному закону № 458) существенно ниже аналогичных норм, применяемых в Евросоюзе, на что уже частично обращалось внимание ранее. Неотработанным является и сам порядок обоснования нормативов утилизации, а также механизм их введения в практику хозяйствования. Так, изначально (т.е. уже с 2015 г.) в РФ нормативы утилизации для бумаги, резиновых, пластмассовых изделий были установлены на уровне 80 %, для машин и электрического оборудования — 50 %. Однако после многочисленных претензий производителей и импортеров введение нормативов утилизации было перенесено на более поздний период, а их уровень был снижен. В 2016 г. для бумаги и картона он составлял 10 %, в 2017 г. — 20 %; для шин и покрышек — 15 и 20 % соответственно; для металлической тары — 20 и 30 %; для стекла, бутылок из пластмассы и отходов типографий — 5 и 10 %. Норматив по переработке электроники вводится только с 2017 г. при уровне в 5 %. Помимо всего прочего, данная ситуация свидетельствует о недостаточной продуманности новых институциональных

<sup>16</sup> Municipal waste statistics, Eurostat. URL: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal\\_waste\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics) (дата обращения: 24.02.2017).

инструментов введения ряда принципов циркулярной экономики и принятия их без согласования с основными стейкхолдерами, которых они касаются. На это обстоятельство уже обращалось внимание в литературе в связи с выяснением причин, обусловивших неудачу первой попытки введения в России принципа наилучших доступных технологий в 2002 г. после принятия нового варианта ФЗ «Об охране окружающей среды» [Пахомова, Малышков, 2012]. Однако уроки из этого неудачного опыта, судя по всему, так и не были в полной мере извлечены.

Дальнейшее развитие циркулярной экономики в странах-партнерах РФ по внешнеторговым связям уже в ближайшей перспективе может негативно отразиться на экспортных доходах страны, поскольку Россия является страной-экспортером сырьевых ресурсов, потребление которых снижается благодаря развитию циркулярной экономики. Это обстоятельство служит дополнительным аргументом, определяющим необходимость для российского бизнеса диверсифицировать свое производство и улучшать конкурентные позиции путем внедрения в практику соответствующих циркулярных бизнес-моделей.

Недостаточный уровень развития циркулярной экономики в РФ обусловлен наличием ряда барьеров, среди которых могут быть выделены технологические, экономические, нормативно-правовые, а также психологические, которые представляют специальный интерес.

*Технологические барьеры* относятся к производственным процессам и технологиям, необходимым для формирования замкнутых цепей поставок и соответствующих им технических и биологических циклов материалов, продукции и отходов. В РФ отсутствует ряд отечественных инновационных технологий в области переработки сырья, недостаточно развит экологический дизайн продукции. Отставание от передового международного опыта в областях, связанных с переработкой материалов, осложняет переход к использованию новых технологий, в том числе вследствие неполноты информации о качественных характеристиках сырья, получаемого в результате переработки отслужившей продукции. То же касается параметров у компонентов и комплектующих, восстановленных в ходе ремануфактуринга. Технологические барьеры усиливаются ввиду барьеров психологических, включая отсутствие у руководства ряда российских компаний системного мышления, что, в свою очередь, мешает оценке перспективных выгод от внедрения циркулярных моделей, приводя к концентрации усилий бизнеса лишь на оптимизации традиционных линейных моделей. Кроме того, в стране не сложилась полноценная инфраструктура сбора и сортировки отслужившей продукции и образующихся отходов для выбора технически подходящих для циркуляции продуктов, материалов и отходов, необходимая для замыкания цепей поставок.

*Нормативно-правовые барьеры и «пустоты»* в основном относятся к управлению отслужившей продукцией и отходами в конце их жизненного цикла. Отсутствие специальной маркировки и системы сертификации, обладающей необходимым правовым статусом, также создает сложность для преобразования линейных цепей поставок в замкнутые, препятствуя распространению прогрессивных бизнес-моделей. В качестве примера можно привести введенный с 1 января 2017 г. национальный стандарт на продукцию органического производства (ГОСТ Р 57022-2016), который, хотя и согласован с требованиями аналогичного стандарта, действующего в ЕС, носит рекомендательный характер, а сертификация органической

продукции по-прежнему остается добровольной [Нестеренко, Пахомова, 2016]. Связанные с нормативно-правовым регулированием барьеры также относятся к порядку ведения бухгалтерского учета, методы которого не являются достаточно гибкими для отражения параметров, относящихся к повторному использованию или утилизации продукции и отходов. Что касается уже упомянутого выше ФЗ № 458-ФЗ от 29.12.2014, то, несмотря на его значимость, в нем отсутствуют нормы, регламентирующие порядок формирования системы отдельного сбора отходов, что серьезно осложняет утилизацию отходов и ведет к ее удорожанию, а также препятствует формированию циркулярной экономики в целом. В данном федеральном законе не предусмотрены и специальные формы государственной поддержки и стимулирования мероприятий, направленных на создание замкнутых цепей поставок.

*Экономические барьеры* и низкая инвестиционная привлекательность мероприятий, связанных с поэтапным внедрением принципов циркулярной экономики, не способствуют привлечению ни внутренних источников финансирования, ни прямых иностранных инвестиций зарубежных компаний, которые уже активно применяют циркулярные бизнес-модели и могли бы осуществить трансфер технологий, реорганизацию существующих линейных процессов и обучение сотрудников. В рейтинге инвестиционной привлекательности РФ заняла, по данным на 2016 г., 100-е место<sup>17</sup>, поэтому многие российские компании должны самостоятельно осуществлять инвестиции в развитие циркулярной экономики. С финансовой точки зрения переход к циркулярной экономике часто приводит к высоким инвестиционным затратам и длительному периоду окупаемости, и в краткосрочном периоде это может обусловить рост цен на продукцию.

В связи с этим обратим внимание на то, что мероприятия, направленные на формирование циркулярной экономики и организацию замкнутых цепей поставок, по своей сути являются улучшающими инновациями — технологическими, организационными, маркетинговыми, социальными, и для успешного их внедрения необходимо использовать специальный «микс» инструментов экономической, промышленной и инвестиционной политики. Что касается упомянутых выше и имеющих важное значение психологических барьеров, то их анализ выходит за рамки данной статьи с учетом ее ограниченных размеров.

### **3. Перспективы использования циркулярных бизнес-моделей в различных секторах российской экономики**

Рассмотренные выше барьеры при концентрации усилий на их ослаблении и преодолении могут играть роль стимулов и драйверов в формировании циркулярной экономики. Технологический прогресс и трансфер технологий, новых методов проектирования продуктов и материалов, повышение доступности информации о них и другие меры способны стимулировать развитие замкнутых цепей поставок. Правовые инструменты, такие как ужесточение и развитие экологического законодательства, с одной стороны, и государственная поддержка в области субсидиро-

---

<sup>17</sup> International Business Compass-2015. URL: <http://www.bdo.es/Portals/0/Contenidos/Documentos/Publicaciones-tecnicas/internacional/international-business-compass-bdo-2016.pdf> (дата обращения: 24.02.2017).

вания компаний, стимулирование научно-исследовательских проектов, связанных с циркулярной экономикой, с другой стороны, являются мощными драйверами для трансформации линейной экономики в циркулярную. Сотрудничество и интеграция российских компаний в глобальные сети экологически ответственного бизнеса помогут организовать замкнутые цепи поставок в России, получить более точную информацию о поставщиках, привести к снижению потенциальных экономических рисков, разделить затраты между всеми участниками вновь организуемой замкнутой цепи. Снижение потребления ресурсов и, соответственно, спроса на них даст понимание того, что текущая модель экономики не сможет больше поддерживать экономический рост, улучшать благосостояние в долгосрочной перспективе, и компании начнут, в том числе и по собственной инициативе, диверсифицировать свою деятельность и использовать циркулярные бизнес-модели.

Трансформация линейной модели экономики в циркулярную в РФ должна осуществляться поэтапно с разработкой краткосрочных, среднесрочных, а также в перспективе и долгосрочных мер, которые требуют специального обоснования, что выходит за рамки данной статьи. Отметим лишь, что при всем значении технологических, нормативно-правовых и экономических мероприятий только ими ограничиваться нельзя. Как показывает опыт развитых стран, большое значение для успешности осуществляемых радикальных преобразований имеют подготовленность общественного сознания, рост озабоченности и активности представителей предпринимательских кругов и населения в связи с пониманием, какой вред для здоровья людей и для природы может принести применение сложившихся в недрах индустриальной эпохи весьма расточительных линейных моделей производства и потребления. Для организации принципиально новых хозяйственных взаимосвязей ответственных участников нового типа цепочек создания ценности важно и последовательное развитие общества по демократическому пути.

Вместе с тем передовой опыт и соответствующие ему бизнес-модели циркулярной экономики могут использоваться уже в современных условиях российскими компаниями. Рассмотрим выделенные выше пять базовых бизнес-моделей циркулярной экономики и обозначим перспективы их применения в ряде секторов российской экономики.

*1. Циркулярные поставщики.* В отраслях сельского хозяйства, производства продовольствия и упаковочных материалов возможно использование перерабатываемых или биоразлагаемых материалов, которые лежат в основе циркулярной системы производства и потребления. Компании соответствующих сегментов должны искать и заключать договоры с поставщиками экосырья и материалов, которым можно было бы вернуть продукцию или отходы на переработку. Особенно актуален для российских потребителей возврат производителю отслужившей или устаревшей техники и электроники, картриджей для печатающей техники, однако это, как правило, требует специальных договоров с зарубежными производителями.

*2. Переработка ресурсов.* Использование компостирования и анаэробного сбраживания в российском сельском хозяйстве для получения удобрений и энергии, а также переработка ТКО и продукции, непригодной для восстановления и повторного использования, необходимы для избегания омертвления ресурсов, увеличения свалок и полигонов, поэтому в РФ необходимо развитие инфраструктуры сбора и сортировки отходов с созданием соответствующих производственных мощностей.

3. *Платформы для обмена.* В России платформы обмена могут быть созданы для продовольственной продукции, одежды и обуви, книг, что позволит продлить жизненный цикл продукции и ее использование, приведет к сокращению объемов производства ряда продуктов и материалов, с одной стороны, и объемов образующихся отходов — с другой.

4. *Продление жизненного цикла продукта.* Отрасль ремануфактуринга может сформироваться в российской автомобильной промышленности, производстве крупной бытовой техники, авиационно-космической промышленности и военно-промышленном комплексе. Объясняется это тем, что продукция данных секторов производится на территории РФ и, соответственно, имеются потенциальные мощности для ее восстановления на базе первичного производства. С учетом внутреннего инвестирования в новые технологии, а также прямых иностранных инвестиций и импорта технологий, взаимодействия производственных площадок и научных центров в РФ может быть сформирована высокотехнологичная отрасль ремануфактуринга, услуги и модели которой уже сегодня применяют тысячи компаний по всему миру в качестве одного из основных элементов циркулярной экономики.

5. *Продукт как услуга.* Данная бизнес-модель может использоваться в сегменте лизинга крупнотоннажных и малотоннажных машин, сельскохозяйственной техники, поскольку вместо покупки дорогостоящего продукта потребителю выгоднее приобрести пакет услуг. При этом у производителя появляется возможность одновременно насытить рынок своей продукцией и получить прибыль за счет послепродажного обслуживания, а также обслуживания во время использования продукции. В итоге на производителя распространяется ответственность за утилизацию продукции в конце ее жизненного цикла, что приводит к формированию замкнутой цепочки поставок.

Таким образом, с учетом взаимодействия государства, бизнеса, научного сообщества в РФ может быть интенсифицирован переход от линейной к циркулярной экономике, что принесет положительные экологические, экономические и социальные эффекты.

## Выводы

Как подтвердил проведенный в статье анализ, традиционные и все еще преобладающие в стране формы организации производственно-хозяйственной деятельности, для которых характерны огромные объемы извлекаемого природного сырья, поступающего в недостаточно эффективную переработку, и далее служащие для изготовления продукции производственного и потребительского назначения, которая по завершению своего жизненного цикла в виде разнообразных отходов выбрасывается в окружающую среду, отличаются недопустимо низкой экономической, ресурсно-экологической и социальной эффективностью и нуждаются в комплексной и вместе с тем оперативной модернизации. При этом вследствие преимущественного захоронения отходов, включая отслужившие и пришедшие в негодность предметы производственного и потребительского назначения как на организованных полигонах, так и на многочисленных несанкционированных свалках, наряду с омертвлением значительных объемов ценных ресурсов происходит изъятие из хозяйственного оборота земельных площадей и существенное загрязнение окружающей среды, которое может приобрести необратимый характер.

В развитых и в ряде развивающихся стран комплексное решение указанных проблем осуществляется в рамках поэтапного перехода от преобладавшей ранее линейной модели экономики с базовым для нее принципом «take, make, waste» к циркулярной экономике, в основе которой лежит цепочка «take, make, reuse». Тем самым одним из ведущих направлений модернизации функционирующей на протяжении всей индустриальной эпохи модели технико-технологического и социально-экономического развития должно стать формирование циркулярной экономики. Речь идет о модели экономики, для которой характерны восстановительный и замкнутый характер; минимизация потребления первичного сырья, а тем самым и объемов перерабатываемых ресурсов и направляемых на захоронение конечных отходов; оптимизация процессов потребления путем разработки и распространения продукции, комплектов и материалов, отвечающих самому высокому уровню их повторного использования, и т. д. К числу центральных опор циркулярной экономики, в свою очередь, относятся замкнутые цепи поставок, представляющие собой организационно-технологические цепочки, которые обеспечивают максимизацию добавленной стоимости в течение всего жизненного цикла продукта с динамическим восстановлением в рамках относительно длительных временных интервалов ценностей самых различных типов и объемов. Циркулярная экономика обеспечивает поэтапное воспроизведение лежащих в самой природе принципов ресурсной эффективности и безотходности, возвращая человека на новой технологической основе к повсеместному воспроизведению в производственных и потребительских циклах принципов, используемых в экосистемах, что формирует одно из ведущих направлений Четвертой промышленной революции.

В развитых странах, включая государства — члены ЕС, предпринимаются активные усилия в области институциональной поддержки поэтапного перехода к практической имплементации принципов циркулярной экономики. К ним относятся меры по нормативно-правовому регулированию, а также экономическому стимулированию и финансовой поддержке проектов, ориентированных на развитие циркулярной экономики. Циркулярные инновационные технологии находят широкое применение в деятельности крупнейших компаний, многие из которых интегрируются в отвечающие требованиям устойчивого развития замкнутые цепочки поставок. В данной сфере активно проводятся исследования зарубежными учеными. К теоретическому осмыслению принципов циркулярной экономики и обобщению позитивного опыта также подключаются участники ряда неправительственных инициатив и организаций.

Что касается России, то для нее актуальна задача существенной активизации усилий по всем обозначенным выше направлениям. Так, недостаточную активность проявляют российские ученые как в области теоретической разработки указанной проблематики, так и в плане обобщения зарубежного и нарождающегося отечественного практического опыта. Поэтапный переход к принципам циркулярной экономики, как показано в статье, наталкивается на совокупность технико-технологических, финансово-экономических и нормативно-правовых барьеров. Их следствием является, в частности, отсутствие инновационных технологий, реализующих принципы циркулярной экономики, включая технологии переработки отходов и ремануфактуринга, экологического дизайна продукции и др. В условиях отсутствия целенаправленной системы поддержки ориентированного на инно-

вазии бизнеса наблюдается низкая инвестиционная активность предприятий по созданию замкнутых цепей поставок. Несмотря на обновление в последние годы законодательства в области обращения с отходами, институциональная поддержка поэтапного перехода к принципам циркулярной экономики нуждается в дальнейшей существенной модернизации.

Вместе с тем в РФ есть возможности для трансформации доминирующей модели линейной экономики в экологически и экономически эффективную циркулярную модель. Так, потенциал для развития переработки, компостирования с извлечением энергии и удобрений в РФ имеют пищевые и коммунальные отходы, ремануфактуринг может развиваться в автомобильной промышленности, секторе крупной бытовой техники, авиационной промышленности и военно-промышленном комплексе. Однако действующие в стране экономические механизмы все еще ориентируют предприятия на применение устаревшей линейной модели. Так, стоимость захоронения отходов на полигонах и сегодня все еще является более привлекательной в сравнении с вложением существенных средств в превентивные мероприятия, не говоря уже о ремануфактуринге и других инновационных технологиях. Для качественного улучшения ситуации необходимы серьезные изменения в области стимулирования инвестиционной активности в рамках перехода к принципам циркулярной экономики. Наряду с целенаправленной поддержкой государством активного в области экологических инноваций бизнеса, а также целенаправленным формированием инфраструктурных объектов, обслуживающих передовые формы обращения с отходами, должны быть введены существенные экологические сборы за уклонение от использования лучшей практики по управлению отходами. Развитие циркулярной экономики в РФ принесет положительный экологический эффект от сокращения свалок и полигонов, экономический эффект от повышения энерго- и ресурсной эффективности, а также социальный эффект от создания дополнительных рабочих мест вследствие получения прибыли компаниями в новых отраслях и видах деятельности. Таким образом, развитие концепции циркулярной экономики, как и практическая имплементация ее принципов, является важной задачей и для научного сообщества, и для российского предпринимательства, государственных органов и общества в целом.

## Литература

- Али С. С. Оптимизационный подход в управлении «зелеными» цепочками поставок с обратной связью (на примере индийской компании) // Проблемы нелинейного анализа в инженерных системах. Казань: КГТУ им. А. А. Туполева, 2015. Т. 21, № 2 (44). С. 121–146.
- Нестеренко Н. Ю., Пахомова Н. В. Органическое сельское хозяйство в России: условия перехода на траекторию устойчивого развития // Экономика сельского хозяйства России. 2016. № 12. С. 34–41.
- Пахомова Н. В., Мальшиков Г. Б. Модернизация российского экологического законодательства и импорт институтов: экономико-правовой анализ // Вестн. С.-Петерб. ун-та. 2012. Серия 5. Экономика. Вып. 3. С. 20–35.
- Пахомова Н. В., Рихтер К. К., Ветрова М. А. Формирование современной системы обращения с отходами — от безопасного захоронения к ремануфактурингу (опыт ЕС, задачи для России) // Проблемы современной экономики. 2016. Вып. 4 (60). С. 181–188.
- Сергиенко О. И. Переход на наилучшие доступные технологии как источник инноваций и способ организации ресурсоэффективного производства // Эффективность экономики, экологические инновации, климатическая и энергетическая политика: сб. статей по результатам международного научно-исследовательского семинара. СПб.: Изд-во ООО «Скифия-принт», 2016. С. 170–178.

- Сергиенко О. И., Буряк И. В. Перспективы применения обратной логистики для утилизации бытовой техники в России // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке. VII междунар. науч.-техническая конф.: материалы конференции. СПб.: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2015. С. 367–370.
- Ajukumar V., Gandhi O. Evaluation of green maintenance initiatives in design and development of mechanical systems using an integrated approach // *Journal of Cleaner Production*. 2013. Vol. 51. P. 34–46.
- Amelia L. et al. Initiating automotive component reuse in Malaysia // *Journal of Cleaner Production*. 2009. Vol. 17, issue 17. P. 1572–1579.
- Andersen M. An introductory note on the environmental economics of the circular economy // *Sustainability Science*. 2007. Vol. 2. P. 133–140.
- Beuren F. et al. Product-service systems: A literature review on integrated products and services // *Journal of Cleaner Production*. 2013. Vol. 47. P. 222–231.
- Boulding K. The economics of the coming spaceship earth // *Environmental Quality in a Growing Economy: Essays from the Sixth RFF Forum*. H. Jarrett. Baltimore: John Hopkins University, 1966. P. 3–14.
- Braungart M., McDonough W. Cradle to cradle: Remaking the way we make things. North Point Press, 2010. 208 p.
- Ellen MacArthur Foundation, Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity (Methodology). 2015. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/programmes/insight/circularity-indicators> (дата обращения: 21.02.2017).
- Ellen MacArthur Foundation. Delivering the Circular Economy a Toolkit for Policymakers. Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK, 2015. URL: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation\\_PolicymakerToolkit.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_PolicymakerToolkit.pdf) (дата обращения: 21.02.2017).
- Ellen MacArthur Foundation. Towards the circular economy; Ellen MacArthur Foundation: UK. 2013. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf> (дата обращения: 21.02.2017).
- Firnkrorn J., Müller M. Selling Mobility instead of Cars: New Business Strategies of Automakers and the Impact on Private Vehicle Holding // *Business Strategy and the Environment*. 2012. Vol. 21 (4). P. 264–280.
- George D., Brian C., Chen Y. A circular economy model of economic growth // *Environmental Modelling & Software*. 2015. Vol. 73. P. 60–63.
- Ghisellini P., Zucaro A., Viglia S., Ulgiati S. Monitoring and evaluating the sustainability of Italian agricultural system. An emergy decomposition analysis // *Ecological Modelling*. 2014. Vol. 271. P. 132–148.
- Ghisellini P., Cialani C., Ulgiati S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems // *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 114. P. 11–32.
- Gray C., Charter M. Remanufacturing and product design // *International Journal of Product Development*. 2008. Vol. 6, N 3/4. P. 375–392.
- Guide J., Wassenhove L. The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research // *Operations research*. 2009. Vol. 57. P. 10–18.
- Jia C., Zhang J. Evaluation of Regional Circular Economy Based on Matter Element Analysis // *Procedia Environmental Sciences*. 2011. Vol. 11. P. 637–642.
- Lacy P., Rutqvist J. The Product as a Service Business Model: Performance over Ownership / Lacy P., Rutqvist J. Waste to Wealth. The Circular Economy Advantage. UK Palgrave Macmillan, 2015. P. 99–114.
- McDonough W., Braungart M. Design for the Triple Top Line: New Tools for Sustainable Commerce // *Corporate Environmental Strategy*. 2002. Vol. 9. P. 251–258.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., Behrens, W. W. Limits to growth: A report for the club of Rome's project on the predicament of mankind. New York City: Universe Books, 1972. 211 p.
- Planing P. Business Model Innovation in a Circular Economy Reasons for Non-Acceptance of Circular Business Models // *Open Journal of Business Model Innovation*. 2015. URL: <http://www.scipublish.com/journals/BMI/papers/1250> (дата обращения: 21.02.2017).
- Ruiter C. The Circular Economy Performance Index. VU University Amsterdam. 2015. URL: <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/337188> (дата обращения: 21.02.2017).
- Scott T. The Sustainable Business. A Practitioner's Guide to Achieving Long-Term Profitability and Competitiveness. Greenleaf Publishing Limited, 2015. 238 p.
- Shafiee A., Stec T. Gaining a Competitive Advantage with Sustainable Business—Implementing Inductive Charging using Systems Thinking, A Benchmarking of EVs and PHEVs. Chalmers University of Technology, Master's Thesis. Göteborg, 2014. 92 p.
- Sherwin C. Sustainable design 2.0: new models and methods, 2013. URL: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/blog/sustainable-design-models-methods-biomimicry-cradle> (дата обращения: 21.02.2017).

- Smith V. The Impact of Automotive Product Remanufacturing on Environmental Performance // *Procedia CIRP*. 2015. Vol. 29. P. 774–779.
- Stahel W. R., Reday-Mulvey G. Jobs for tomorrow: the potential for substituting manpower for energy. New York: Vantage Press, 1981. 116 p.
- Van Renswoude K., Wolde A., Joustra D. Circular Business Models. Part 1: An introduction to IMSA's Circular Business Model Scan. 2015. URL: <http://circular-future.eu/wp-content/uploads/2015/08/IMSA-Circular-Business-Models-April-2015-Part-1.pdf> (дата обращения: 21.02.2017).
- Verbeek L. A Circular Economy Index for the consumer goods sector. 2016. URL: <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/337188> (дата обращения: 21.02.2017).

**Для цитирования:** Пахомова Н. В., Рихтер К. К., Ветрова М. А. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям поставок как фактор устойчивого развития // Вестник СПбГУ. Экономика. 2017. Т. 33. Вып. 2. С. 244–268. DOI: 10.21638/11701/spbu05.2017.203

## References

- Ajukumar V., Gandhi O. Evaluation of green maintenance initiatives in design and development of mechanical systems using an integrated approach. *Journal of Cleaner Production*, 2013, vol. 51, pp. 34–46.
- Ali S. S. Optimizatsionnyi podkhod v upravlenii «zelenymi» tserpochkami postavok s obratnoi svyaz'iu (na primere indiijskoi kompanii) [Optimization approach in the management of «green» supply chain with feedback (the example of an Indian company)]. *Problemy nelineinogo analiza v inzhenernykh sistemakh [Problems of nonlinear analysis in engineering systems]*. Kazan, KGTU im. A. A. Tupoleva Publ., 2015, vol. 21, no 2 (44), pp. 121–146. (In Russian)
- Amelia L. et al. Initiating automotive component reuse in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 2009, vol. 17, issue 17, pp. 1572–1579.
- Andersen M. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science*, 2007, vol. 2, pp. 133–140.
- Beuren F. et al. Product-service systems: A literature review on integrated products and services. *Journal of Cleaner Production*, 2013, vol. 47, pp. 222–231.
- Boulding K. The economics of the coming spaceship earth. *Environmental Quality in a Growing Economy: Essays from the Sixth RFF Forum*. H. Jarrett. Baltimore, John Hopkins University Publ., 1966, pp. 3–14.
- Braungart M., McDonough W. *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press, 2010. 208 p.
- Ellen MacArthur Foundation, *Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity (Methodology)*, 2015. Available at: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/programmes/insight/circularity-indicators> (accessed: 21.02.2017).
- Ellen MacArthur Foundation. *Delivering the Circular Economy a Toolkit for Policymakers*. Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK, 2015. Available at: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation\\_PolicymakerToolkit.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_PolicymakerToolkit.pdf) (accessed: 21.02.2017).
- Ellen MacArthur Foundation. *Towards the circular economy; Ellen MacArthur Foundation: UK. 2013*. Available at: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf> (accessed: 21.02.2017).
- Firnborn J., Müller M. Selling Mobility instead of Cars: New Business Strategies of Automakers and the Impact on Private Vehicle Holding. *Business Strategy and the Environment*, 2012, vol. 21 (4), pp. 264–280.
- George D., Brian C., Chen Y. A circular economy model of economic growth. *Environmental Modelling & Software*, 2015, vol. 73, pp. 60–63.
- Ghisellini P., Zucaro A., Viglia S., Ulgiati S. Monitoring and evaluating the sustainability of Italian agricultural system. An emergy decomposition analysis. *Ecological Modelling*, 2014, vol. 271, pp. 132–148.
- Ghisellini P., Cialani C., Ulgiati S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 2016, vol. 114, pp. 11–32.
- Gray C., Charter M. Remanufacturing and product design. *International Journal of Product Development*, 2008, vol. 6, no. 3/4, pp. 375–392.
- Guide J., Wassenhove L. The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research. *Operations research*, 2009, vol. 57, pp. 10–18.
- Jia C., Zhang J. Evaluation of Regional Circular Economy Based on Matter Element Analysis. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, vol. 11, pp. 637–642.
- Lacy P., Rutqvist J. The Product as a Service Business Model: Performance over Ownership. Lacy P., Rutqvist J. *Waste to Wealth. The Circular Economy Advantage*. UK Palgrave Macmillan, 2015, pp. 99–114.

- McDonough W., Braungart M. Design for the Triple Top Line: New Tools for Sustainable Commerce. *Corporate Environmental Strategy*, 2002, vol. 9, pp. 251–258.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens, W.W. *Limits to growth: A report for the club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York City, Universe Books Publ., 1972. 211 p.
- Nesterenko N. Ju., Pakhomova N. V. Organicheskoe sel'skoe khoziaistvo v Rossii: usloviia perekhoda na traektoriiu ustoichivogo razvitiia [Organic agriculture in Russia: the conditions of transition to the sustainable development trajectory]. *Ekonomika sel'skogo khoziaistva Rossii [Economics of Agriculture of Russia]*, 2016, no. 12, pp. 34–41. (In Russian)
- Pakhomova N. V., Malyshev G. B. Modernizatsiia rossiiskogo ekologicheskogo zakonodatel'stva i import institutov: ekonomiko-pravovoi analiz [Modernization of the Environmental Law of the Russian Federation and Import of Institutions: Economic-Legal Analysis]. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Series 5. Economics*. 2012, issue 3, pp. 20–35. (In Russian)
- Pakhomova N. V., Richter K. K., Vetrova M. A. Formirovanie sovremennoi sistemy obrashcheniia s otkhodami — ot bezopasnogo zakhroneniia k remanufacturingu (opyt ES, zadachi dlia Rossii) [Creating a contemporary waste management system — from reliable disposal to remanufacturing]. *Problemy sovremennoi ekonomiki [The problems of modern economics]*, 2016, issue 4 (60), pp. 181–188. (In Russian)
- Planing P. Business Model Innovation in a Circular Economy Reasons for Non-Acceptance of Circular Business Models. *Open Journal of Business Model Innovation*, 2015. Available at: <http://www.scipublish.com/journals/BMI/papers/1250> (accessed: 21.02.2017).
- Ruiter C. *The Circular Economy Performance Index*. VU University Amsterdam, 2015. Available at: <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/337188> (accessed: 21.02.2017).
- Scott T. *The Sustainable Business. A Practitioner's Guide to Achieving Long-Term Profitability and Competitive-ness*. Greenleaf Publishing Limited, 2015. 238 p.
- Sergienko O. I. Perekhod na nailuchshie dostupnye tekhnologii kak istochnik innovatsii i sposob organizatsii resursoeffektivnogo proizvodstva [The transition to the best available technology as a source of innovation and resource-efficient way of organizing production]. *Effektivnost' ekonomiki, ekologicheskie innovatsii, klimaticheskaiia i energeticheskaiia politika: sb. statei po rezul'tatam mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo seminar [The efficiency of the economy, environmental innovation, climate and energy policy: A collection of articles on the results of the international research seminar]*. St. Petersburg, OOO "Skifija-print" Publ., 2016, pp. 170–178. (In Russian)
- Sergienko O. I., Buriak I. V. Perspektivy primeneniia obratnoi logistiki dlia utilizatsii bytovoi tekhniki v Rossii [Prospects of application of reverse logistics for the disposal of household appliances in Russia]. *Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii v XXI veke. VII mezhdunar. nauch.- tekhnicheskaiia konf.: materialy konferentsii [Low-temperature and food technologies in the XXI century. VII International Scientific Conference: conference materials]*. St. Petersburg, Sankt-Peterburgskii natsional'nyi issledovatel'skii universitet informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki Publ., 2015, pp. 367–370. (In Russian)
- Shafiee A., Stec T. *Gaining a Competitive Advantage with Sustainable Business — Implementing Inductive Charging using Systems Thinking, A Benchmarking of EVs and PHEVs*. Chalmers University of Technology, Master's Thesis. Göteborg, 2014. 92 p.
- Sherwin C. *Sustainable design 2.0: new models and methods*, 2013. Available at: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/blog/sustainable-design-models-methods-biomimicry-cradle> (accessed: 21.02.2017).
- Smith V. The Impact of Automotive Product Remanufacturing on Environmental Performance. *Procedia CIRP*, 2015, vol. 29, pp. 774–779.
- Stahel W. R., Reday-Mulvey G. *Jobs for tomorrow: the potential for substituting manpower for energy*. New York, Vantage Press, 1981. 116 p.
- Van Renswoude K., Wolde A., Joustra D. *Circular Business Models. Part 1: An introduction to IMSA's Circular Business Model Scan*, 2015. Available at: <http://circular-future.eu/wp-content/uploads/2015/08/IMSA-Circular-Business-Models-April-2015-Part-1.pdf> (accessed: 21.02.2017).
- Verbeek L. *A Circular Economy Index for the consumer goods sector*, 2016. Available at: <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/337188> (accessed: 21.02.2017).

**For citation:** Pakhomova N. V., Richter K. K., Vetrova M. A. Transition to circular economy and closed-loop supply chains as driver of sustainable development. *St Petersburg University Journal of Economic Studies*, 2017, vol. 33, issue 2, pp. 244–268. DOI: 10.21638/11701/spbu05.2017.203

Статья поступила в редакцию 23 января 2017 г.

Статья рекомендована в печать 16 марта 2017 г.