

Выбор технологий реализации древесных отходов при формировании и развитии экономики замкнутого цикла в лесопромышленном кластере

Choice of technologies for wood waste realization within the formation and the development of circular economy in the wood cluster

doi 10.26310/2071-3010.2020.259.5.007



Б. О. Калюжный,
аспирант, Томский политехнический университет,
г. Томск/Университет Бургундии Франш-Комте,
г. Дижон (Франция)
✉ borisk@tpu.ru

B. O. Kalioujny,
PhD student, Tomsk polytechnic university,
Tomsk/University of Burgundy Franche-Comté,
Dijon (France)



Е. А. Монастырный,
д. э. н., профессор, ШИП ТПУ/профессор
кафедры УИ ТУСУР/зав. лабораторией
устойчивого развития социально-экономических
систем, ТНЦ СО РАН, г. Томск
✉ e.monastyrny@gmail.com

E. A. Monastyrnyy,
Tomsk, D. Sc., professor SEE TPU/professor DIM
TUSUR/head of the laboratory for sustainable
development of socio-economic systems, Tomsk
scientific center SB RAS



В. Ю. Кудрин,
государственный советник Томской
области 1-го класса, директор,
Ассоциация «Союз Томских лесо-
промышленников и лесэкспортеров»
✉

V. Yu. Kudrin,
state counselor of the Tomsk region 1st
class, director, Association «Union
of Tomsk timber industrialists and forest
exporters»

Статья посвящена разработке комплексной модели лесопромышленного кластера Томской области в целях эффективного внедрения технологий решения проблемы древесных отходов и обеспечения устойчивого развития (УР) отрасли в целом. В настоящей статье, опираясь на результаты работ [1, 2] и необходимость разработки стратегии экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ), проведены 1) моделирование процесса отбора технологий, 2) выбор индикаторов оценки эффективности и 3) моделирование процесса внедрения технологий ЭЗЦ на примере лесопромышленного парка «Асиновский». В работе показано наличие большого количества путей достижения целей ЭЗЦ и действующих лиц (стейкхолдеров), интересы которых могут быть не согласованы и зачастую могут противоречить друг другу. Подход ЭЗЦ должен включать в центр внимания устойчивого развития (УР) лесопромышленного комплекса 1) экологические и социальные индикаторы достижения целей УР и 2) территориальные особенности ЛПК. В работе предложена процедура (методика) выбора технологий реализации древесных отходов для их применения в лесопромышленном кластере. Учет практического опыта позволяет глубже понять проблематику и проверить выводы проведенного исследования.

The article is devoted to the development of an integrated modeling of the wood cluster through the example of the Tomsk region in order to effectively introduce technologies for solving the problem of wood waste and ensure the sustainable development (SD) of the industry as a whole. In this article, based on the results of works [1, 2] and the need to develop a circular economy strategy (CE), are conducted 1) the modeling of the technology selection process, 2) the selection of indicators for assessing effectiveness and 3) the modeling of the CE technologies introduction through the example of the forestry park «Asinovskiy». This paper shows the existence of many ways to achieve goals of CE and actors (stakeholders), whose interests may not be agreed upon and often may contradict each other. CE approach should include in the focus of the wood industry 1) environmental and social indicators for achieving SD goals and 2) territorial features of the forestry activity. As a result, a procedure (method) for technology selection of wood waste realization and their application in the wood cluster is proposed. Considering practical experience allows a deeper understanding of the problems and to verify the study conclusions.

Ключевые слова: лесопромышленный кластер, лесопромышленный комплекс, отходы, экономика замкнутого цикла, устойчивое развитие, системный анализ, мягкий системный анализ, комплексное моделирование.

Keywords: wood cluster, waste, circular economy, sustainable development, system analysis, soft system analysis, modeling, integrated modeling.

Настоящая статья является продолжением работ «Анализ проблем развития лесопромышленного комплекса при формировании модели экономики замкнутого цикла на примере Томской области» [1] и «Комплексное моделирование лесопромышленных комплексов в парадигме устойчивого развития и формирования экономики замкнутого цикла» [2].

Постановка проблемы. Актуальность

Актуальность работы определяется необходимостью решения проблемы древесных отходов в Томской области и РФ. В работе [1] показано, что отходы образуются на всех стадиях цепочки поставок и представля-

ют собой угрозу для развития отрасли. Эти проблемы находятся во взаимосвязи с другими экологическими, экономическими и социальными проблемами. Во второй работе [2] проведено комплексное моделирование ЛПК Томской области как «мягкой» системы (системы со сложным слабоструктурированным проблемным полем). При моделировании использовались подходы УР и ЭЗЦ. В результате разработки совокупности согласованных моделей макро- и мезоуровней рассмотрены различные пути решения проблемы древесных отходов с учетом особенностей понятия «УР» и предложены инструменты прогнозирования возможностей и угроз при управлении реализацией отходов. Реализация отходов согласно концепции 4R ЭЗЦ включает сокращение отходов (1R), повторное использование

(2R), восстановление ресурсов, продуктов и товаров (3R), переработку отходов (4R).

В данной работе проводится моделирование на микроуровне природно-экономически-социальной системы ЛПК Томской области.

При определении целей моделирования возникают два основных вопроса:

1. Какие технологии могут быть применены для решения проблемы древесных отходов и на базе каких критериев их необходимо выбирать?
2. Как эффективно внедрить выбранные технологии на предприятиях и каких эффектов можно ожидать с точки зрения устойчивого развития региональной системы ЛПК в целом?

На микроуровне предприятий в полной мере проявляется еще одна проблема. Любые проекты и программы развития, принимаемые законы и иные нормативные акты будут реализованы только в том случае, если хозяйствующие субъекты будут экономически заинтересованы в их исполнении.

Цель и задачи работы

Цель работы — разработать модель микроуровня «мягкой» системы, ориентированной на формирование элементов экономики замкнутого цикла на предприятии и устойчивое развитие лесопромышленного кластера региона.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методический подход к выбору технологий реализации древесных отходов.
2. Проанализировать применяемые индикаторы оценки эффективности формирования экономики замкнутого цикла по всей цепочке создания ценностей и предложить систему индикаторов с учетом требований УР и ЭЗЦ.
3. Разработать совокупность моделей лесопромышленного кластера как объекта применения технологий реализации отходов и развития элементов экономики замкнутого цикла.

Методы исследования. Используемые материалы

1. Комплексное моделирование проблемы выбора технологий реализации древесных отходов, на примере Франции и Томской области.
2. Комплексное моделирование проблемы внедрения технологий реализации отходов на уровне предприятия, на примере лесопромышленного кластера Томской области.
3. Анализ подходов оценки эффективности внедрения элементов экономики замкнутого цикла при перспективе устойчивого развития ЛПК в целом.
4. Используемые источники информации:
 - научные статьи;
 - аналитические и нормативные документы мирового и федерального уровня;
 - аналитические и нормативные документы регионального уровня;
 - ведомственная отчетность.

Микроуровень анализа. Субмодели

Комплексное моделирование позволяет изучить выбранный объект и происходящие в нем процессы на различных уровнях анализа и с различных точек зрения.

В настоящем исследовании представлен практический (микро) уровень моделирования ЛПК как природно-экономически-социальной системы. Опираясь на разработанную ранее модель мезоуровня «классификация древесных отходов по месту образования, по направлениям реализации и размерно-качественным свойствам», разработана методика (процесс) выбора технологий реализации древесных отходов. Кроме того, в соответствии с цепочкой поставок и трем сферам УР разработана классификация технологий реализации отходов по направлениям ЭЗЦ и по месту образования отходов. Прделанная работа показывает сложность разработки стратегии ЭЗЦ и необходимость ее привязки к конкретному объекту. Предложен набор индикаторов оценки эффективности внедрения технологий реализации отходов с точки зрения УР трех сфер при формировании ЭЗЦ на макро-, мезо- и микроуровнях. Далее смоделирован процесс создания продуктов из древесины по всей цепочке поставок с точки зрения ЭЗЦ в «Асиновском» лесопромышленном парке. В совокупности эти модели показывают связи и возможные конфликты интересов между отдельными участниками. Предложена процедура (методика) выбора технологий реализации отходов на уровне предприятия, кластера (микроуровень), дополненная индикаторами макро и мезо уровней.

Первая модель. Процесс выбора технологий

Проведем классификацию технологий, используемых для решения проблемы отходов из древесины, исходя из концепции 4R ЭЗЦ. При этом моделирование (классификацию) будем проводить как первый этап процесса выбора технологий для сокращения отходов (рис. 1).

Проблема — совокупность проблем, связанных с выбором технологий для формирования ЭЗЦ.

Целевое ограничение — классификация технологий реализации древесных отходов на основе четырех направлений реализации отходов ЭЗЦ, по месту образования отходов согласно цепочке поставок и трем сферам УР и по экологичности, масштабу, потребности в конечных продуктах и доступности.

На рис. 1 показан процесс идентификации технологий реализации отходов из древесины на основе 4 направлений реализации отходов ЭЗЦ. При выборе технологий учитывается место образования отходов согласно цепочке поставок, а также соотношение технологий с тремя сферами УР (природа–экономика–социум). Такой подход дает возможность искать и выбирать соответствующие технологии по определенным критериям. В данном случае выбор осуществляется по критериям экологичности, масштаба, потребностей в конечных продуктах и доступности.

Рассмотрим эти группы технологий более подробно.

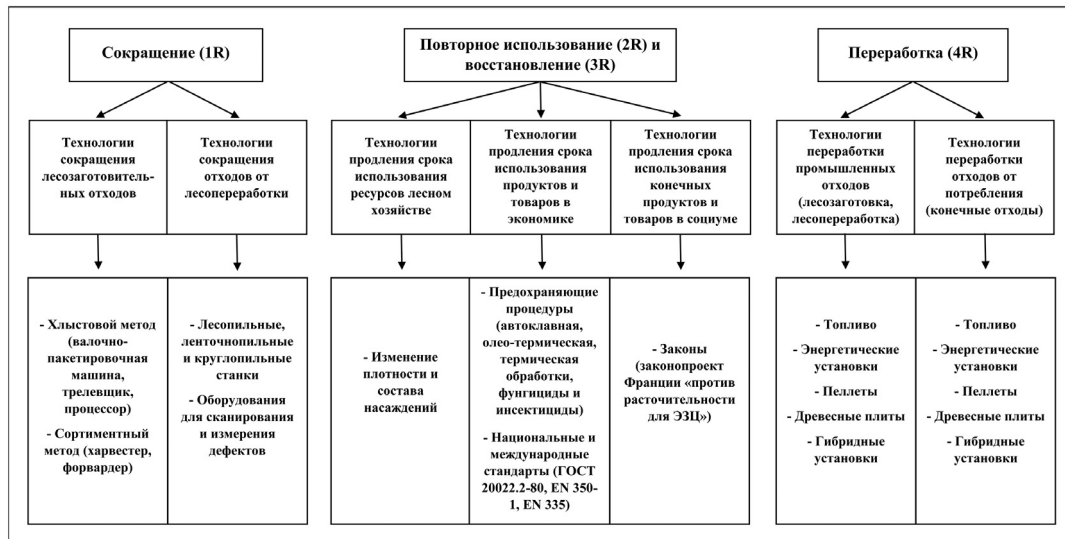


Рис. 1. Процесс выбора технологий для решения проблемы отходов из древесины на основе модели ЭЗЦ

Технологии сокращения лесозаготовительных отходов. Одним из эффективных методов сокращения лесозаготовительных отходов является хлыстовой метод заготовки. Данный метод заключается в заготовке леса целыми стволами без сучьев. Технологический процесс прост и не требует применения сложной спецтехники — это валочно-пакетирующая машина для срезания, удерживания и укладки деревьев, трелевщик (скиддер) для перевозки хлыстов к месту раскряжевки и процессор для обрезки сучьев, нарезания сортиментов и оставления хлыстов. В отличие от сортиментного метода главное преимущество хлыстового метода заготовки, это возможность максимально сократить количество лесозаготовительных отходов и их централизовать либо на месте переработки, либо на промежуточном или нижнем складе. Причем с точки зрения сокращения отходов предпочтительным является вывоз с делян целыми деревьями с сучьями. Для успешного применения этой технологии необходимо учесть комплекс природно-производственных условий, влияющих на возможности использования технологий. Например, таксационная характеристика, параметры среды, виды и способы рубок, объемы лесозаготовок и т. д. Здесь особенно привлекает внимание экологическая проблема. Основными факторами, влияющими на экологическую нагрузку, являются средний объем хлыста, ликвидный запас деревьев на 1 га, рельеф, почвенно-грунтовые условия и породный состав насаждений [3]. Можно отметить, что предприятие «Томлесдрев» — одно из немногих предприятий в СФО, которое использует технологию вывоза целыми деревьями с сучьями [4].

Технологии сокращения отходов от лесопереработки. На уровне лесопереработки главные решения заключаются в повышении эффективности лесопильных линий, т. е. достижении максимально глубокой переработки сырья. Высокая добавленная стоимость формируется благодаря минимальному расходу сырья, энергии и материалов. В производстве могут использоваться лесопильные, ленточнопильные и круглопильные станки для обеспечения переработки тонкомерного, короткомерного и низкокачественного

сырья, ограничения энергопотребления, получения оптимального количественного выхода пилопродукции или для ограничения отходов и производства из них вторичного сырья [5]. Также может быть использовано, например, оборудование для сканирования и измерения всех видов дефектов древесины, что позволяет обеспечить стабильное качество с минимальными потерями. Необходимо отметить, что факторы реконструкции и технического перевооружения на предприятии прямо зависят от размерно-качественных характеристик сырья, полученного на месте лесозаготовки, т. е. от природно-производственных факторов [6].

Технологии продления срока использования ресурсов в лесном хозяйстве. Эти технологии пока не получили широкого распространения в России.

Французское Агентство по управлению окружающей средой и энергетикой (ADEME) определяет ЭЗЦ как «экономическую систему обмена и производства, которая на всех этапах жизненного цикла продуктов (товары и услуги) направлена на повышение эффективности использования ресурсов и уменьшение воздействия на окружающую среду при развитии благосостояния общества» [7]. Это означает, что параметры продления срока использования продукта начинается с его дизайна. «Экодизайн» продукта должен связать создание продукта и рассмотрение всех рисков использования продукта по всему его жизненному циклу, включая защиту ресурсов, продуктов и товаров из древесины [8].

В условиях изменения климата необходимо защищать лесные ресурсы поскольку риски нападения насекомых, пожаров и штормов весьма увеличиваются. Таким образом, необходимо чтобы лесное хозяйство совместно с наукой провели исследования и смогли найти пути увеличения устойчивости лесов. В основном, это заключается в плотности и составе насаждений [9]. Во Франции, например, запущен проект «Giono» как опыт вспомогательной миграции. Семена из разных источников отбираются на юге Франции для их посадки в лесу Вердена на севере страны. Данный подход направлен на борьбу с исчезновением некоторых пород деревьев. Анализ поведения 700 посажен-

ных деревьев позволяет лучше понять и развернуть вспомогательную миграцию южных насаждений [10]. Также необходимо посадить меньше деревьев с большим расстоянием между ними, что позволит увеличить устойчивость общего водного баланса. Отбор различных древесных пород позволяет лесам повысить свою устойчивость к экстремальным погодным явлениям, и снизить риск резкого падения продуктивности. Это может также требовать сокращения хозяйственного оборота для ускоренного развития адаптационных свойств древесных пород, а также проведения долгосрочных опытов.

Технологии продления срока использования продуктов и товаров в экономике. Для товаров и продуктов из древесины риски нападения насекомых, грибков и бактерий, гниения достаточно велики и прямо зависят от содержания влаги. Устойчивость древесины определяется либо по ее естественным свойствам, либо по предохраняющим ее процедурам. Предохраняющие процедуры зависят от типа продукта, т. е. от его использования. Например, используются ли изделия в сухом помещении или регулярно погружаются в соленую воду. Существуют несколько типов предохраняющих процедур и стандартов [11, 12], например:

- автоклавная обработка предполагает глубокую пропитку под давлением для древесины, которая используется в сложных условиях;
- олеотермическая обработка древесины предполагает пропитку под давлением консервантом, содержащим растительные масла, что позволяет древесине заменить испарившуюся воду маслом и становится нечувствительным к микроорганизмам;
- термическая обработка древесины предполагает выдерживать древесину при средней температуре 190°C в течение 25-50 часов, что позволяет улучшить свойства местных пород и избежать использования экзотических пород дерева;
- фунгициды и инсектициды для уничтожения насекомых-вредителей и патогенных грибов, защиты от ультрафиолета и влаги, средства для

удаления краски и другие чистящие средства, которые предполагают использование химических веществ.

Необходимо отметить, что все время появляются все новые формулы «био», позволяющие увеличить экологическую устойчивость продуктов.

Что касается стандартов, то в России существует ГОСТ 20022.2-80, который классифицирует породы по стойкости к гниению и пропитываемости, объекты защиты по скорости расконсервирования и уязвимости, защитные средства. Необходимо отметить, что данная классификация может оказаться недостаточной поскольку она не охватывает все мировые породы. В таком случае возможно использовать стандарты Европейского союза EN 350-1 по общим требованиям по стойкости древесины и EN 335 для классификации биологических факторов повреждения [12, 13, 14].

Технологии продления срока использования конечных продуктов и товаров в социуме. Например, Франция взяла на себя обязательство сократить на 38% потребление энергии в своем жилом и коммерческом парке к 2020 г. и сократить на 75% выбросы парниковых газов к 2050 г. В этом случае использование древесины в качестве материала оказывается, одним из лучших способов восстановления деревянных и не только деревянных домов, поскольку древесина является возобновляемым ресурсом, способствующим теплоизоляции. Она имеет небольшой вес, что облегчает надстройки и расширение домов. Она также является промышленно пригодным материалом для повышения качества, сокращения затрат и сроков, сокращения трудоемких работ и уменьшения строительных отходов. Древесина имеет очень хорошие экологические показатели, в частности, связанные с ее емкостью для хранения углерода, низким энергопотреблением и его возможностью вторичного использования и переработки [15].

Также во Франции в феврале 2020 г. был принят закон «против расточительности для ЭЗЦ» в целях стимулирования ремонта и использования запчастей. Таким образом, стал обязательным для покупателей

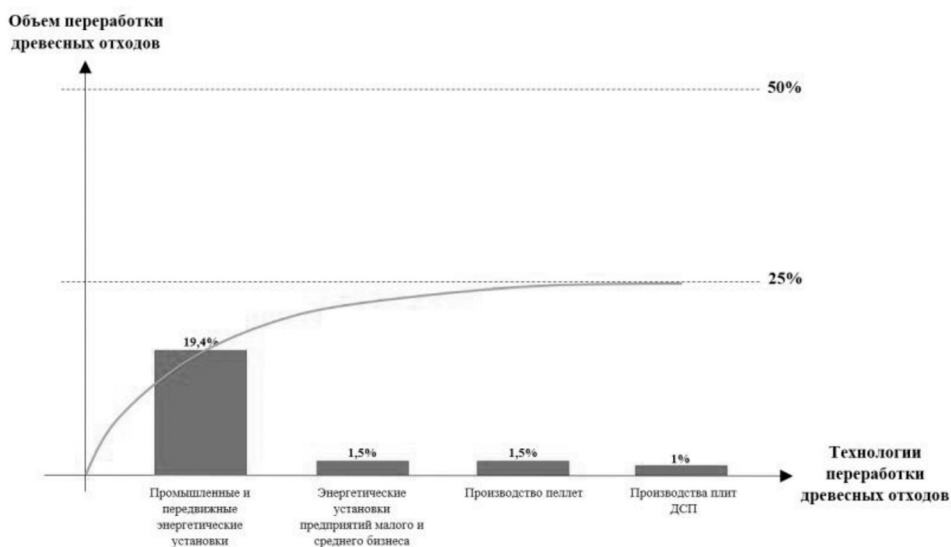


Рис. 2. Объем переработанных отходов из древесины по доступным технологиям в Томской области (%), сложившийся к 2013 г. уровню потребления)

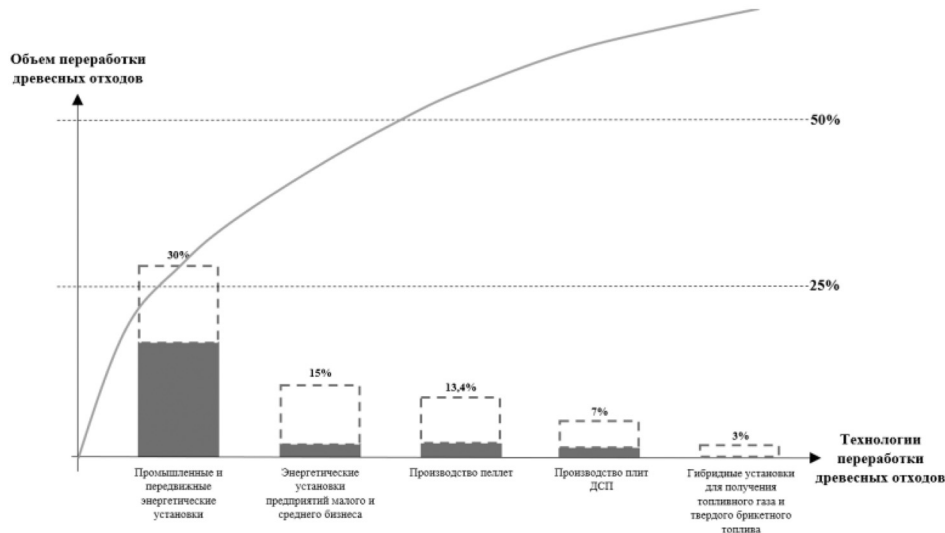


Рис. 3. Объем переработанных отходов из древесины по доступным технологиям в Томской области (%), сложившийся к 2030 г. уровню потребления)

доступ к информации о наличии и недоступности запасных частей при покупке мебели [16]. Данный подход позволяет изменять менталитет в экономике и социуме, стремиться к переходу к максимальному рациональному использованию ресурса и поддержать инициативы, такие как проект «Моя мастерская в городе» [17]. Проект реализуется с 2014 г. и предлагает почасовую аренду помещения, инструментов или ноу-хау для самостоятельного изготовления или ремонта продуктов.

В России только недавно запущена новая система обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО). Одной из острых проблем, кроме порядка внедрения новых правил, является та, что не существует достаточно предприятий для обработки и утилизации ТКО.

Технологии переработки промышленных отходов (лесозаготовка, лесопереработка). Технологии переработки отходов от потребления (конечные отходы)

Главный вопрос развития переработки отходов заключается в увеличении мощностей и в расширении использованных технологий. Согласно лесному плану Томской области, в 2013 г. только 25% образованных отходов из древесины переработаны в форме топлива или материала (рис. 2). В форме топлива использованы промышленные и передвижные энергетические установки (19,4%), энергетические установки предприятий малого и среднего бизнеса (1,5%) и производство пеллет (1,5%). В форме материала для производства ДСП использованы (1%) отходов (рис. 2) [18].

Анализ перспективных возможностей переработки отходов из древесины показывает, что возможно увеличение уровня переработки до 60% (рис. 3).

Среди технологий можно отметить:

- Увеличение и расширение использования технологий производства биотоплива из отходов. Ожидается увеличение мощности производства пеллет в 190 раз к 2025 г. в рамках совместных проектов предприятий кластера и использования новых технологий для сжигания на внутрипроизводственных котельных предприятиях ЛПК

и в муниципальных и социальных объектах [19]. Среди этих технологий, в частности, разрабатываются гибридные установки для получения топливного газа и твердого брикетного топлива, которые позволили бы компаниям производить и использовать возобновляемый источник энергии в самых отдаленных районах, например, в лесном хозяйстве и на уровне лесозаготовках [20].

- Увеличение мощностей производства древесных плит. Прогнозы показывают увеличение производства ДСП в 4 раза к 2025 г. по сравнению с 2013 г. Соответственно к 2025 г. производство ДСП представляет 1150 тыс. куб. м. в год [18].

Но для того, чтобы переработка стала системной необходимо детальное изучение машин для сбора, возможной обработки и транспортировки отходов с точки зрения обоснованности их применения в российских условиях.

На данный момент, например, одной из наиболее актуальных является проблема лесозаготовительных отходов, которые представляют большое количество потенциального сырья, находящегося далеко от основных центров переработки. Перспективное направление реализации лесозаготовительных отходов из древесины в России является производством щепы, получаемой в результате измельчения древесного сырья рубильными машинами и специальными устройствами [21]. В основном щепа используется для получения тепловой и электрической энергии, вырабатываемая на собственных тепловых электростанциях (ТЭС). Главные преимущества такой энергии заключается в том, что она в 2-3 раза дешевле поставляемой извне и соответствует требованиям перехода к зеленой экономике и УР [22]. В итоге, основной вопрос в возможности эффективной переработки отходов заключается в технологическом процессе, который зависит от множества факторов: пород деревьев, сезона, метод заготовки, вида рубки, типа используемых технологий и др. При сплошнолесосечной сортиментной технологии, например, существуют несколько путей системы производства щепы. Сбор, измельчение и перемещение

отходов до потребителя может происходить по различным местам, т. е. на делянке (у пня), на погрузочной площадке (у дороги), на терминале (нижнем складе) или у потребителя [23]. Соответственно, каждое место требует отдельных технологических цепочек для производства и транспортировки сырья.

Промежуточный вывод 1. Моделирование процесса выбора технологий для решения проблемы реализации отходов из древесины на основе модели ЭЗЦ и концепции УР показывает сложность достижения поставленной цели. По всей цепочке создания ценностей (природа–экономика–социум) очень много действующих лиц (стейкхолдеров), интересы которых не согласованы и часто противоречат друг другу. Конечным получателем выгод (ценностей) устойчивого развития является все общество (социум) в целом, а издержки по созданию этих ценностей (продуктов) несут конкретные хозяйствующие субъекты, экологические и социальные ограничения при потреблении ценностей (продуктов) несут конкретные потребители.

Вторая модель. Выбор индикаторов

Как уже говорилось выше, искать и выбирать соответствующие технологии необходимо по определенным критериям (индикаторам), которые относятся к природной (экологической), экономической, социальной сферам, а также характеризуют процессы реализации отходов на макро, мезо и микроуровнях. Еще раз повторим, что мы рассматриваем формирование ЭЗЦ как механизм достижения целей УР.

Большинство показателей для оценки ЭЗЦ (circular esopomtu) направлены на сохранность материалов. К этому добавляются различные индикаторы, которые зависят от выбранной стратегии формирования ЭЗЦ и функций объекта анализа. Например, в работе [24] для оценки уровня развития ЭЗЦ весовые коэффициенты учитывают в процентах сумму трех составляющих: экономию ресурсов, снижение выбросов CO₂ и рентабельность. Данный подход не отражает воздействия на социальную сферу и возможные косвенные воздействия на окружающую среду и экономику. Это связано с тем, что взаимодействия между сферами сложны и не полностью задокументированы и, что тип отношений между ЭЗЦ и УР варьируется как условно выгодный или имеющий компромиссы, которые могут привести к неблагоприятным результатам [25].

Поэтому авторы настоящей статьи предлагают формировать индикаторы оценивания на основе модели «процесс создания ценностей» с целью рассмотрения динамики изменения ценностей и угроз при выборе технологий реализации отходов.

Рассмотрим индикаторы, предлагаемые различными источниками.

Многие процессы, происходящие в экологической сфере, влияют на социальную сферу, ухудшая условия жизни людей. Одним из самых важных и актуальных является процесс изменения климата, который рассматривается в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата (Парижское соглашение), предлагающее меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере с 2020 г., которое ратифицировала РФ

в 2019 г. Согласно статье 4 Соглашение предполагает, что все страны должны «стремиться как можно скорее достичь глобального пика выбросов парниковых газов [...] в целях достижения сбалансированности между антропогенными выбросами из источников и абсорбцией поглотителями парниковых газов» [26].

Для достижения цели в РФ был принят «национальный план адаптации к изменению климата», который определяет организационные и нормотворческие меры. Также должны быть разработаны отраслевые и региональные планы адаптации до 2022 г. [27]. В рамках проекта формирования ЭЗЦ необходимо учесть общий углеродный баланс деятельности ЛПК, т. е. баланс между продуктивностью российских лесов, общим потреблением углеродных источников энергии для функционирования цепочки поставок (машины, транспортировки, техника) и воздействием древесных продуктов на бюджет парниковых газов (развитие использования возобновляемых источников энергии, накопление CO₂ на протяжении срока жизни древесных продуктов).

В 2010 г. По итогам Конвенции о биологическом разнообразии ООН приняты Стратегия и План действий по сохранению биологического разнообразия Российской Федерации на 2011-2020 гг. [28]. Среди 20 целевых задач определены с точки зрения устойчивого управления лесами возможно рассмотреть глобальные целевые задачи 5 и 7 [29].

Первая относится к тому, что «утраты всех естественных мест обитания, включая леса, как минимум сокращены наполовину». Вследствие необходимости высокой степени их сохранности выделены организацией WWF 200 глобальных экорегионов для которых характерны природные сообщества, являющиеся местом обитания определенных биологических видов. Для лесных зон, например, подробно рассматриваются малонарушенные лесные территории, которые характеризуются целостными природными территориями площадью более 50 тыс. га, не имеющими постоянные поселений, действующие транспортные коммуникации и не современную интенсивную хозяйственную деятельность. Согласно документу для того, чтобы оценить выполнение данной задачи предлагается следующий набор индикаторов:

- а) площадь лесов РФ/площадь лесов по субъектам РФ;
- б) площадь малонарушенных лесных территорий;
- в) площадь национального лесного наследия РФ;
- г) площадь степных и близких к ним травяных экосистем в регионе распространения степного биома;
- д) расчетная площадь залежей в пределах области распространения степного биома.

Вторая задача относится к тому, что к 2020 г. территории, занятые под сельское хозяйство, аквакультуру и лесное хозяйство, управляются устойчивым образом, обеспечивая сохранение биоразнообразия. Одной из острых проблем ЛПК является отсутствие норм, обеспечивающих реализацию данной задачи, что, следовательно, не позволяет развитие систем добровольной лесной сертификации и борьбы с незаконными рубками. Таким образом, необходимо увеличить количество инспекторов для организации эффективной охраны

в касающихся зонах. Согласно документу для того, чтобы оценить выполнение данной задачи можно предлагать следующие индикаторы:

- а) количество (доля от общего числа) субъектов РФ, принявших нормативные правовые акты о защите биоразнообразия на сельских территориях и сельскохозяйственных угодьях;
- б) площадь ландшафтных пожаров за пределами лесного фонда;
- в) расширение количества объектов искусственного воспроизводства;
- г) количество субъектов РФ, включивших в документы лесного планирования и проектирования сведения об объектах биоразнообразия и мерах по их сохранению;
- д) площадь особо защитных участков лесов, созданных для целей сохранения биоразнообразия и мест обитания;
- е) площадь лесов сертифицированных в соответствии с требованиями международных схем добровольной сертификации лесопользования;
- ж) объемы незаконных рубок;
- з) объем заготовки древесины в защитных лесах; и) площадь антропогенных лесных пожаров.

Также можно отметить, что нарушение лесных экосистем может иметь огромные последствия на экономику и социум. Например, в условиях изменения климата негативные последствия могут отражаться в увеличении частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений и соответственно в социальной напряженности в лесном секторе и других. Таким образом, экономические показатели могут включить в себя, например, уровень ВВП/ВРП отрасли, количество рабочих мест, экономические потери для предприятий ЛПК, повышение затрат на лесохозяйственные мероприятия, увеличение страховых рисков в отрасли и др. [30].

Для измерения уровня удовлетворенности населения или «благополучие человека» стали более актуальными вопросы о субъективных факторах. Для измерения благополучия человека доход теперь не является основным индикатором благосостояния. Необходимо включить еще и показатели, которые выявляют определенные проблемы в социальной сфере

[31]. Например, в работе [32] предлагаются комплексные критерии оценки социальных функций лесных ландшафтов, включающее в себя 4 виды функций:

- рекреационная, которая заключается в удовлетворении потребностей населения в отдыхе в лесу и определяется «нормами допустимых рекреационных нагрузок»;
- оздоровительная, которая заключается в определении степени ионизации кислорода воздуха и выделении химически активных летучих органических веществ;
- воспитательно-образовательная, которая заключается в развитии духовной жизни народа и классифицирована следующими показателями: «философские» (нравственность, духовность), «менталитет людей» (экологическое сознание, историческая преемственность, целостно-личностное восприятие природы) и «формирование индивидуальных особенностей людей» (творческое воображение, сочувствие и сострадание);
- эстетическая, которая может отличаться в зависимости от рельефа местности, от наличия, качества, пространственного размещения деревьев и кустарников, от класса возраста, состава древостоя и сомкнутости полога древостоя или от конфигурации открытых участков.

Объединяя множество рассматриваемых критериев с точки зрения формирования ценностей и угроз в трех сферах УР, авторы предлагают минимальный набор индикаторов оценивания эффективности внедрения технологий реализации отходов из древесины (рис. 4).

Безусловно, эти индикаторы оценивают самые обобщенные характеристики процесса развития и очень сложно их применять для оценки внедрения технологий реализации отходов на мезо- и микроуровнях.

Поэтому предлагается провести выбор индикаторов, соответствующих направлениям реализации отходов из древесины (рис. 5). Можно отметить, что включены отдельно промышленные отходы и отходы от потребления, которые находятся в разных зонах ответственности и, которые могут иметь различные подходы к реализации. Таким образом, стратегия сокращения отходов (1R) от потребления отражает

ЭКОЛОГИЯ	ЭКОНОМИКА	СОЦИУМ
<u>Ценности:</u> регулирование экосистем (O ₂ /CO ₂ , водные потоки и др.), возобновление природных ресурсов, биоразнообразие.	<u>Ценности:</u> вовлечение, производство и доведение товаров и продуктов.	<u>Ценности:</u> удовлетворение потребностей человека и общества.
<u>Угрозы:</u> изменение климата, дефицит и перезревание ресурсов.	<u>Угрозы:</u> отходы, сокращение ресурсов, промышленные и транспортные загрязнения.	<u>Угрозы:</u> избыточное потребление, отходы.
ПОКАЗАТЕЛИ - уровень поглощения и накопления CO ₂ - уровень уничтожения разнообразия - уровень обезлесения и перезревания лесов	ПОКАЗАТЕЛИ - уровень добавленной стоимости, количество созданных рабочих мест и др. - количество реализованных промышленных отходов - количество эмиссий и предотвращенных эмиссий парниковых газов	ПОКАЗАТЕЛИ - количество реализованных отходов от потребления - уровень удовлетворенности населения

Рис. 4. Индикаторы эффективности внедрения технологий реализации отходов с точки зрения УР трех сфер при формировании ЭЗЦ в ЛПК



Рис. 5. Пример набора индикаторов реализации отходов из древесины согласно 4 направлениям ЭЗЦ

необходимость стратегии повторного использования и/или восстановления (2R/3R).

Промежуточный вывод 2. Сложность выбора индикаторов для оценивания состояния системы ЛПК и разработки стратегии развития ЭЗЦ определяется сложностью исследуемой системы. Это «мягкая» система, характеризующаяся слабоструктурированным проблемным полем, сложной совокупностью взаимодействующих между собой процессов, наличием нескольких зачастую противоречивых решений. Кроме того, каждый национальный лесопромышленный комплекс, каждый территориальный лесопромышленный кластер обладает своим уникальным набором характеристик. Поэтому предлагаемый набор индикаторов необходимо рассматривать только как первую итерацию процедуры, которую необходимо проверить на практике.

Третья модель. Процесс внедрения технологий ЭЗЦ. Процедура (методика) выбора технологий

Моделирование процесса выбора технологий и определение набора индикаторов оценки эффективности внедрения технологий реализации отходов позволяет сделать следующий шаг — рассмотреть лесной кластер Томской области как совокупность хозяйствующих субъектов и провести для некоторых его элементов моделирование внедрения технологий ЭЗЦ по всей цепочке поставок.

Прежде всего рассмотрим развитие лесопромышленного кластера Томской области с позиций основных стейкхолдеров: органов власти и управления, крупнейших лесопромышленных предприятий [18, 19]. Исторически сложившаяся структура районов лесозаготовки и логистика доставки лесных грузов по территории области определяет наличие трех крупных лесопромышленных центров. Старейший из них — это группа компаний «Томлесдрев», ведущая лесозаготовку, лесопереработку, в том числе производство древесно-стружечных плит (ДСП) и ламинированных древесно-стружечных плит (ЛДСП). Группа компа-

ний «Латат», ведущая лесозаготовку, производство плит МДФ (древесно-волоконистые плиты). Группа компаний, объединенных в Лесопромышленный парк «Асиновский». В мае 2008 г. между Администрацией Томской области и Яньтайским северо-западным обществом лесного хозяйства был подписан Меморандум о создании на территории Томской области российско-китайского лесопромышленного кластера с объемом заготовки и комплексной переработки древесины 4,5 млн м³ в год. Управляющая компания АО «Рускитинвест» [33].

Стратегия развития лесопромышленного комплекса Томской области предусматривает создание регионального лесного кластера. Кластерный подход наилучшим образом соответствует корпоративным интересам участников лесного бизнеса в борьбе за обладание конкурентными преимуществами в совершенствовании технологических процессов и механизмов продаж. Например, в его рамках можно сбалансировать интересы по рациональному обеспечению сырьем и другими ресурсами в соответствии с требованиями конкретных производств. Необходимо признать, что на данный момент существующие связи между отраслевыми и межотраслевыми структурами Томской области не отвечают интеграционному потенциалу, хотя в отрасли имеются примеры устойчивых региональных связей, которые можно рассматривать как элементы кластерной структуры. Ядро лесопромышленного кластера Томской области начинает формироваться вокруг лесоперерабатывающих производств с наибольшей глубиной переработки сырья и высокой добавленной стоимостью.

Формирование кластера понимается как процесс добровольной кооперации самостоятельных предприятий и других действующих лиц в определенной функциональной нише — создание регионального центра технологий комплексной переработки древесины.

В условиях глобализации экономики наиболее уязвимыми являются малые формы хозяйствования, так как они не обладают необходимыми ресурсами,

чтобы самостоятельно противостоять вызовам. Внутри же лесного кластера у них появляется возможность устойчивого развития за счет удовлетворения потребностей более крупных участников.

Региональная власть объективно заинтересована в создании кластера, поскольку это значительно повышает эффективность отраслевого управления, однако неизбежность консолидации предприятий лесного комплекса Томской области и структур, их обслуживающих, не так очевидна. Каждое предприятие преследует свои корпоративные цели, характеризуется определенной степенью закрытости, корпоративного эгоизма и обособленности, претендует на индивидуальную работу по обслуживанию его интересов.

Моделирование быстроразвивающегося лесопромышленного кластера Томской области, включающего в себя три базовых инвестиционных проекта, реализуемых тремя «якорными» компаниями, является достаточно сложным делом. Но в кластер входит Лесопромышленный парк «Асиновский», ядром которого является группа предприятий, созданных на основе инвестиционного проекта между Китаем и Россией. Основной объем инвестиций обеспечивает китайская сторона, которая запланировала инвестировать больше 30 млрд. рублей в развитие комплекса. Финансирование и управление обеспечивает компания АО «Рускитинвест».

В рамках лесопромышленного парка «Асиновский» функционирует несколько блоков: блок по логистике и транспортировке (РусКитТранс, Чулым Лес Транс);

блоки по лесозаготовке (Сиблеспром, Леспромхоз тегульдетский) и лесопереработке (Лесопильный завод 1, Асиновский завод МДФ); блок по торговым и вспомогательным предприятиям (АЛП Карьер, Торговый дом ЛПК, Асиновская ТЭЦ, Лесная столовая, Рускитстрой). Перечень предприятий (состояние на 2019 год) далеко не полон, он постоянно меняется и пополняется, но в целом он отражает структуру деятельности Лесопромышленного парка.

С точки зрения формирования экономики замкнутого цикла возможными результатами развития по выбранному направлению могут быть: «эффект масштаба», «эффект интеграции» (оптимизация структуры дочерних предприятий), «эффект диверсификации» и «эффект кооперации» [34, 35]. Например, можно отметить, что концентрация предприятий на территории Асиновского парка могла бы стимулировать стратегию промышленного симбиоза [8].

Следующая модель микроуровня предназначена для привязки технологий ЭЗЦ к цепочке поставок с учетом достижения основных индикаторов УР (рис. 6).

Проблема – совокупность проблем, связанных с процессом внедрения технологий ЭЗЦ в Лесопромышленном парке «Асиновский».

Целевое ограничение – определение выходных характеристик при последовательном формировании материальных, отходных и вторичных ресурсных потоков по всей цепочке поставок в Лесопромышленном парке «Асиновский».

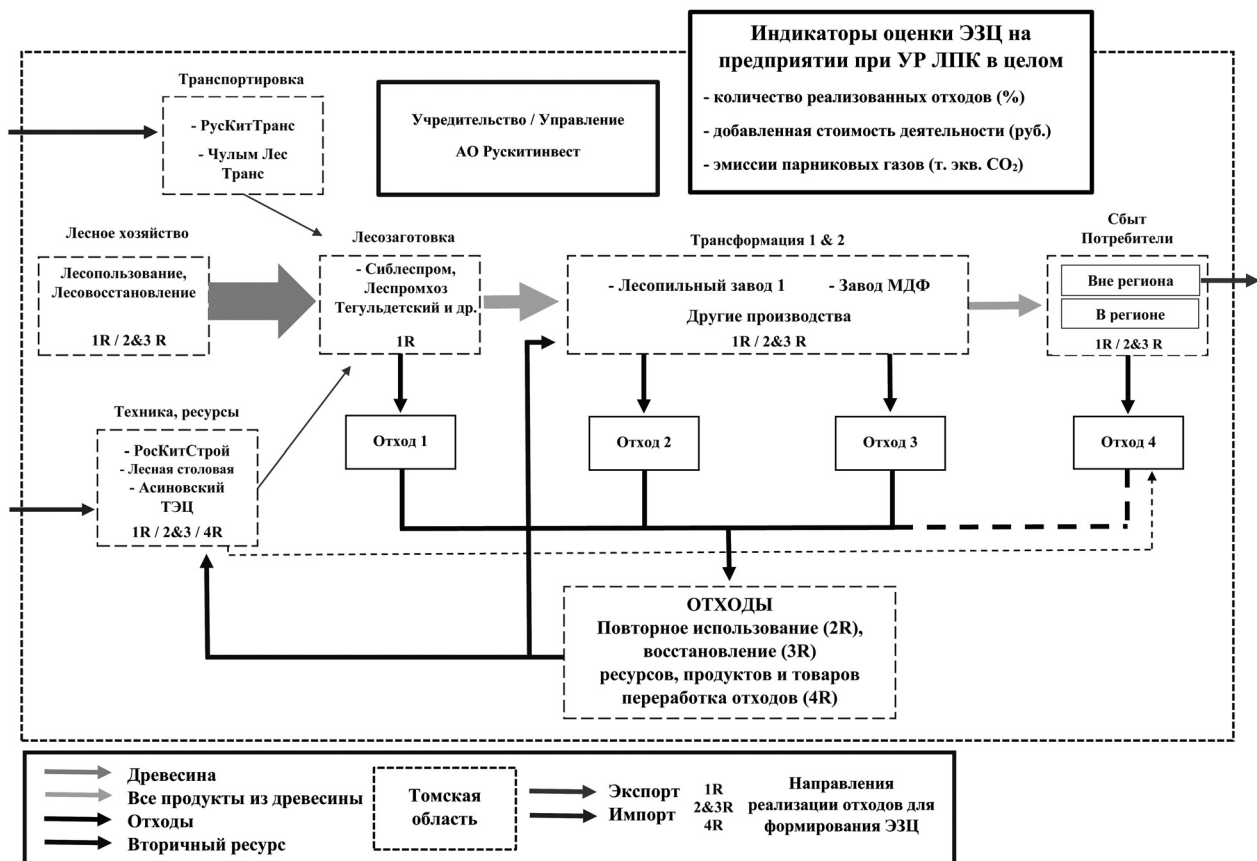


Рис. 6. Процесс внедрения технологий ЭЗЦ в Лесопромышленном парке «Асиновский» по всей цепочке поставок с точки зрения ЭЗЦ

На рис. 6 показано как могла бы выглядеть структурная схема выбора технологий реализации отходов и разработки стратегии ЭЗЦ на примере Лесопромышленного парка «Асиновский», который является одним из значимых участников лесопромышленного кластера Томской области. Действительно, он имеет финансовую мощность и концентрацию предприятий, включающую все элементы цепочки поставок. Это позволяет выявить конкретно роль и функции каждого участника в процессе и увидеть взаимодействие всех элементов.

Процедура (методика) выбора технологий реализации отходов на уровне предприятия, кластера (микроуровень) с учетом результатов работ [1, 2] и настоящей статьи выглядит следующим образом:

1. Моделирование производственной цепочки поставок (supply chain) с выделением потоков отходов.
2. Определение объема, размерно-качественных свойств и места образования отходов.
3. Определение затрат на сортировку, транспортировку и переработку отходов.
4. Оценка стоимости дополнительного оборудования для переработки отходов.
5. Оценка дополнительной выгоды (дохода) от продукции из отходов.

То есть на микроуровне реализация отходов рассматривается как инвестиционный проект по внедрению элементов ЭЗЦ. Необходимо подчеркнуть, что выбор конкретных технологий — это свободный выбор руководителей и собственников предприятий, который будет определяться экономической выгодой.

Однако необходима оценка возможных выгод и угроз не только на уровне предприятия, кластера (микроуровень), но и на уровнях региона (мезоуровень) и страны (макроуровень). Например, в работе [2] показано, что Франция имеет высокие показатели формирования и развития ЭЗЦ в ЛПК, но встречает сложности при достижении национальных целей УР.

Поэтому процедура (методика) выбора технологий реализации отходов на уровне предприятия, кластера (микроуровень) должна включать еще два этапа.

6. Оценка эффектов на мезоуровне:
 - % сокращения отходов на уровне лесозаготовки;
 - % сокращения отходов на уровне лесопереработки;
 - % уничтожения древесных пород;
 - % обработанных древесных продуктов для продления срока использования;
 - % древесных продуктов использованных для восстановления других продуктов;
 - % древесных промышленных отходов переработанных.
7. Оценка эффектов на макроуровне:
 - уровень поглощения и накопления CO_2 ;
 - уровень уничтожения разнообразия;
 - уровень обезлесения и перезревания лесов;
 - уровень добавленной стоимости, количество созданных рабочих мест и др.;
 - количество реализованных промышленных отходов;
 - количество эмиссий и предотвращенных эмиссий парниковых газов;

- количество реализованных отходов от потребления;
- уровень удовлетворенности населения.

Промежуточный вывод 3. Процедура (методика) выбора технологий реализации отходов показывает сложность внедрения индикаторов УР на микроуровне системы ЛПК, так как экономические функции являются самыми важными функциями системы и главным инструментом перехода к УР. Поэтому формирование стратегии ЭЗЦ для достижения целей УР требует включения экологических и социальных показателей в центр стратегии развития ЛПК и, соответственно, создания механизмов реализации на уровне предприятия, например, через введение новых нормативов, стандартов и т. д.

Дискуссия и выводы

1. Комплексное моделирование как метод мягкого системного анализа позволяет получить общее понимание явлений и процессов и предсказать возможные изменения в системе в целом под воздействием внешних и внутренних факторов. Из всего спектра проблем развития ЛПК одной из самых сложных является проблема древесных отходов.

В статье, используя для формулирования целей моделирования подходы УР и принципы ЭЗЦ, разработана совокупность моделей, применимая для построения лесопромышленных комплексов как устойчивых природно-экономически-социальных систем на микроуровне. Подход комплексного моделирования позволяет максимально полно отразить исследуемые процессы и снизить вероятность возможных ошибок при анализе.

2. Анализ микроуровня включает в себя несколько основных моделей. Например, это модель процесса выбора технологий для решения проблемы отходов из древесины на основе четырех направлений реализации отходов модели ЭЗЦ и по месту образования отходов согласно цепочке поставок и трем сферам УР. Она позволяет затем провести поиск и выбор технологий по различным критериям. Также она позволяет понять необходимость привязать выбор технологий к определенному объекту поскольку каждый объект имеет свои особенности.
3. Все это позволяет увидеть различные пути разработки стратегии ЭЗЦ с учетом экономических, экологических и социальных особенностей объекта анализа. Все это показывает важность определения набора показателей, позволяющих провести мониторинг развития стратегии ЭЗЦ. Акцент делается на том, что используемые технологии реализации древесных отходов должны обеспечить УР отрасли в целом.

И в заключение необходимо обозначить направление дальнейших исследований, которые ведутся во Франции и России.

Французскими учеными [36, 37] показано на примере Франции, что вызовы УР и «экологизация» экономики идут очень часто параллельно с явлением «территориализации», в том числе и для лесного сек-

тора. В настоящее время данное явление выражается 1) в более высокой автономии локальных участников и 2) в осознании проблем в обществе. Суть состоит в том, чтобы «сломать» логику глобализации экономики и снизить зависимость местных компаний от международных конъюнктур. Осознание проблемы обществом, особенно потребителями, позволяет выйти за рамки одностороннего технологического аспекта инновационного потенциала территории. Таким образом, «идентификация» к местным продуктам позволяет включить в созданные ценности не только социально-экономические результаты, а также положительные внешние эффекты.

В исследуемом нами примере ЛПК Томской области кластерная политика может оказаться мощным инструментом территориализации деятельности, особенно с точки зрения ЭЗЦ, но который потребует

дополнительных исследований. Действительно, логика территориализации может требовать, например, 1) необходимости укрепления сотрудничества между участниками процесса внутри и снаружи структуры, включая организации из разных областей деятельности и уровней; 2) обработки и анализа большого ряда количественных и качественных данных по всем уровням обобщения. Вопросы о включении социальных и экологических проблематик в стратегию развития территорий и организаций в настоящее время по мнению многих ученых является обязательным.

* * *

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 18-410-700006 «Исследование процессов естественного формирования региональных кластеров».

Список использованных источников

1. Б. Калужный, Е. А. Монастырный. Анализ проблем развития лесопромышленного комплекса при формировании модели экономики замкнутого цикла на примере Томской области//Иновации. № 3. 2019. С. 86-93.
2. Б. Калужный, Е. А. Монастырный. Комплексное моделирование лесопромышленных комплексов в парадигме устойчивого развития и формирования экономики замкнутого цикла //Иновации. № 3. 2020. С. 85-94.
3. В. И. Запруднов, С. П. Карпачев, М. А. Быковский. Технологии и технические средства процессов лесосечных работ//Лесной вестник. Т. 21. № 1. 2017. С. 108-117.
4. План Лесоуправления. ООО «Томлесдрев», г. Томск, 2018.
5. Г. Ф. Прокофьев, Н. Ю. Микловцик, А. М. Тюрин. Новые лесопильные модули для использования в гибких автоматизированных лесопильных линиях//Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова (Архангельск). № 1 (349). 2016. С. 131-137.
6. А. М. Газизов, А. И. Исламуратов. Повышение эффективности лесопильного производства//Символ Науки (Уфа). Т. 2. № 3. 2017. С. 47-49.
7. A. Geldron. Economie circulaire: notions (Fiche Technique). ADEME. 2014. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-economie-circulaire-0ct-2014.pdf>.
8. K. Kalliojnny, J. Ermushko. Could RRI approach play key role in establishment of circular economy?//The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences (EpSBS), 2017. Vol.26: Responsible Research and Innovation (RRI 2016). International Conference 07-10 November 2016. Tomsk, Russian Federation. P. 341-348.
9. Прогноз развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 г. Продовольственная и сельскохозяйственная Организация Объединенных Наций, Рим, 2012.
10. ONF (Office d National des Forêts). Rapport d'activite. 2015.
11. Project «Durabilité»: vers une amelioration de la duree de vie des ouvrages extérieurs en bois. FCBA INFO. 2010.
12. В. В. Трутко, В. Б. Снопков. Определение параметров защищенности древесины в зависимости от класса условий службы//Труды БГТУ (Минск). Лесная и деревообрабатывающая промышленность. № 2. 2010. С. 134-137.
13. Межгосударственный стандарт ГОСТ 20022.2-2018. Защита древесины. Классификация. 2019. <http://docs.cntd.ru/document/1200159812>.
14. Fiches Produits Ouvrage Bois (P.O.B.). Traitement des bois. FCBA, IRABOIS, 2015.
15. S. Martel, L. Casset, O. Gleizes. Forêts et carbone: comprendre, agir, valoriser. Institut pour le developpement forestier, 2015.
16. LOI n°2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire. Texte n°1, JORF n°0035 du 11 février 2020. <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2020/2/10/TREP1902395L/jo/texte>.
17. Mon atelier en ville. 2016. <http://monatelierenville.com>.
18. Лесной план Томской области (2009-2018), книга 1. Департамент лесного хозяйства Томской области - ОАО «Лесинвест».
19. Программа развития Лесопромышленного кластера Томской области, Т. 1. Департамент развития предпринимательства и реального сектора экономики Томской области. Томск, 2017.
20. Р. Б. Табакаев, А. В. Казаков, А. С. Завори. Перспективность низкосортных топлив Томской области для теплотехнологического использования//Известия Томского политехнического университета. Т. 323. № 4: Энергетика. 2013. С. 41-46.
21. А. П. Мохирев, М. А. Зырянов. Технология лесосечных работ с сортировкой порубочных остатков древесины//Системы. Методы. Технологии. Братский государственный университет. № 3 (27). 2015. С. 118-122.
22. И. Р. Шегельман, А. С. Васильев. Анализ путей повышения конкурентоспособности энергетической биомассы//Инженерный вестник Дона. № 3. 2013.
23. Ю. В. Суханов, Ю. Ю. Герасимов, А. А. Селиверстов, А. П. Соколов. Технологические цепочки и системы машин для сбора и переработки древесной биомассы в топливную щепу при сплошнолесосечной заготовке в сортиментах//Системы. Методы. Технологии. Братский государственный университет (Братск). № 4 (12). 2011. С. 101-107.
24. Н. В. Пахомова, К. К. Рихтер, М. А. Ветрова. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям поставок как фактор устойчивого развития//Вестник СПбГУ. Экономика. 2017. Т. 33. Вып. 2. С. 244-268.
25. G. Moraga, S. Huysveld, F. Mathieux et al. Circular economy indicators: What do they measure?//Resources, Conservation and Recycling. Vol. 146. 2019. P. 452-461.
26. Организация Объединенных Наций. Парижское соглашение в рамках рамочной конвенции ООН об изменении климата. Ноябрь 2015. United Nations Climate Change. https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf.
27. Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 25 декабря 2019 г. № 3183-р «Об утверждении прилагаемого национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 г.». Москва.
28. Организация Объединенных Наций. Конвенция о биологическом разнообразии. Десятилетие биоразнообразия. Жизнь в гармонии с природой. Стратегический план в области сохранения и устойчивого использования биоразнообразия на 2011-2020 гг.
29. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Стратегия и План действий по сохранению биологического разнообразия Российской Федерации. WWF, GEF, UNEP. Москва. 2014.
30. Т. С. Королева, А. В. Константинов, Е. А. Шунькина. Угрозы и социально-экономические последствия изменения климата для лесного сектора//Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. № 3. 2015. С. 55-71.
31. Ю. Е. Шелкунова. Баланс объективных и субъективных факторов как основополагающий принцип измерения экономического благополучия человека//Экономика России в XXI веке. Сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию экономического образования. Томский политехнический университет. 2014. С. 422-426.
32. А. И. Гагарин, Т. А. Лебедева. Оценка социальных функций лесных ландшафтов Сибири и Урала//Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. № 1 (12). 2010. С. 161-173.
33. <https://russiaindustrialpark.ru/lesopromyshlennyy-park-asinovskiy>.
34. А. В. Кондратюк. Методический подход к формированию стратегии экономической устойчивости холдинговых систем лесопромышленного комплекса//Вестник московского государственного университета леса. Лесной вестник. № 5. 2008. С. 139-142.

35. A. B. Кондратюк. Особенности финансовой стратегии холдинговых систем//Вестник российского экономического университета им. Г. В. Плеханова (Москва). № 6. 2007. С. 74-80.
36. J. Lenglet, S. Cauria. Territorialisation et écologisation dans la filière forêt-bois française: une rencontre fortuite?//Développement durable et territoires. Vol. 11, № 1. Avril 2020. 23 p.
37. A. Niang, S. Bourdin, A. Torre. L'économie circulaire, quels enjeux de développement pour les territoires?//Développement durable et territoires. Vol. 11, № 1. Avril 2020. 17 p.

References

1. B. Kalyuzhnyj, E. A. Monastyrnyj. Analiz problem razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa pri formirovanii modeli ekonomiki zamknutogo cikla na primere Tomskoj oblasti//Innovacii. № 3. 2019. S. 86-93.
2. B. Kalyuzhnyj, E. A. Monastyrnyj. Kompleksnoe modelirovanie lesopromyshlennykh kompleksov v paradigme ustojchivogo razvitiya i formirovaniya ekonomiki zamknutogo cikla//Innovacii. № 3. 2020. S. 85-94.
3. V. I. Zaprudnov, S. P. Karpachev, M. A. Bykovskij. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva processov leseosechnykh rabot//Lesnoj vestnik. T. 21. № 1. 2017. S. 108-117.
4. Plan Lesoupravleniya. 000 «Tomlesdrev», g. Tomsk, 2018.
5. G. F. Prokofev, N. Yu. Miklovicik, A. M. Tyurin. Novye lesopil'nye moduli dlya ispol'zovaniya v gibkih avtomatizirovannykh lesopil'nykh liniyah//Izvestiya vysshix uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal. Severnyj (Arkticheskij) federal'nyj universitet im. M. V. Lomonosova (Arhangel'sk). № 1 (349). 2016. S. 131-137.
6. A. M. Gazizov, A. I. Islamuratov. Povysenie effektivnosti lesopil'nogo proizvodstva//Simvol Nauki (Ufa). T. 2. № 3. 2017. S. 47-49.
7. A. Geldron. Economie circulaire: notions (Fiche Technique). ADEME. 2014. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-economie-circulaire-oct-2014.pdf>.
8. B. Kalioujny, J. Ermushko. Could RRI approach play key role in establishment of circular economy?//The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences (EpSBS), 2017. Vol.26: Responsible Research and Innovation (RRI 2016). International Conference 07-10 November 2016. Tomsk. Russian Federation. P. 341-348.
9. Prognoz razvitiya lesnogo sektora Rossijskoj Federacii do 2030 goda. Prodvovl'stvennaya i Sel'skohozyajstvennaya Organizaciya Ob'edinyonnykh Nacij, Rim, 2012.
10. ONF (Office d National des Forests). Rapport d'activite. 2015.
11. Project «Durabilité»: vers une amelioration de la duree de vie des ouvrages extérieurs en bois. FCBA INFO. 2010.
12. V. V. Trut'ko, V. B. Snopkov. Opredelenie parametrov zashchishchennosti drevesiny v zavisimosti ot klassa uslovij sluzhby//Trudy BGTU (Minsk). Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. № 2. 2010. S. 134-137.
13. Mezhsosudarstvennyj standart GOST 20022.2-2018. Zashchita drevesiny. Klassifikaciya. 2019. <http://docs.cntd.ru/document/1200159812>.
14. Fiches Produits Ouvrage Bois (P.O.B.). Traitement des bois. FCBA, IRABOIS, 2015.
15. S. Martel, L. Casset, O. Gleizes. Forêts et carbone: comprendre, agir, valoriser. Institut pour le developpement forestier, 2015.
16. LOI n°2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire. Texte n°1, JORF n°0035 du 11 février 2020. <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2020/2/10/TREP1902395L/jo/texte>.
17. Mon atelier en ville. 2016. <http://monatelierenville.com>.
18. Lesnoj plan Tomskoj oblasti (2009-2018), kniga 1. Departament lesnogo hozyajstva Tomskoj oblasti - OAO «Lesinvest».
19. Programma razvitiya Lesopromyshlennogo klastera Tomskoj oblasti, T. 1. Departament razvitiya predprinimatel'stva i real'nogo sektora ekonomiki Tomskoj oblasti. Tomsk, 2017.
20. R. B. Tabakaev, A. V. Kazakov, A. S. Zavori. Perspektivnost' nizkosortnykh topliv Tomskoj oblasti dlya teplotekhnologicheskogo ispol'zovaniya//Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. T. 323. № 4: Energetika. 2013. S. 41-46.
21. A. P. Mohirev, M. A. Zyryanov. Tekhnologiya leseosechnykh rabot s sortirovkoj porubochnykh ostatkov drevesiny//Sistemy. Metody. Tekhnologii. Bratskij gosudarstvennyj universitet. № 3 (27). 2015. S. 118-122.
22. I. R. SHegeľman, A. S. Vasil'ev. Analiz putej povysheniya konkurentosposobnosti energeticheskoj biomassy//Inzhenernyj vestnik Dona. № 3. 2013.
23. Yu. V. Suhanov, Yu. Yu. Gerasimov, A. A. Seliverstov, A. P. Sokolov. Tekhnologicheskie cepochki i sistemy mashin dlya sbora i pererabotki drevesnoj biomassy v toplivnuyu shchepu pri sploshnoseosechnoj zagotovke v sortimentah//Sistemy. Metody. Tekhnologii. Bratskij gosudarstvennyj universitet (Bratsk). № 4 (12). 2011. S. 101-107.
24. N. V. Pahomova, K. K. Rihter, M. A. Vetrova. Perekhod k cirkulyarnoj ekonomike i zamknutykh cepyam postavok kak faktor ustojchivogo razvitiya//Vestnik SPbGU. Ekonomika. 2017. T. 33. Vyp. 2. S. 244-268.
25. G. Moraga, S. Huysveld, F. Mathieux et al. Circular economy indicators: What do they measure?//Resources, Conservation and Recycling. Vol. 146. 2019. P. 452-461.
26. Organizaciya Ob'edinyonnykh Nacij. Parizhskoe soglasenie v ramkah ramoschnoj konvencii OON ob izmenenii klimata. Noyabr' 2015. United Nations Climate Change. https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf.
27. Pravitel'stvo Rossijskoj Federacii. Rasporyazhenie ot 25 dekabrya 2019 g. № 3183-r «Ob utverzhdenii prilagaemogo nacional'nogo plana meropriyatij pervogo etapa adaptacii k izmeneniyam klimata na period do 2022 g.». Moskva.
28. Organizaciya Ob'edinyonnykh Nacij. Konvenciya o biologicheskom raznoobrazii. Desyatiletie bioraznoobraziya. ZHizn' v garmonii s prirodoy. Strategicheskij plan v oblasti sohraneniya i ustojchivogo ispol'zovaniya bioraznoobraziya na 2011-2020 gody.
29. Ministerstvo prirodnykh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii. Strategiya i Plan dejstvij po sohranenyu biologicheskogo raznoobraziya Rossijskoj Federacii. WWF, GEF, UNEP. Moskva. 2014.
30. T. S. Koroleva, A. V. Konstantinov, E. A. SHun'kina. Ugrozy i social'no-ekonomicheskie posledstviya izmeneniya klimata dlya lesnogo sektora//Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozyajstva. № 3. 2015. S. 55-71.
31. Yu. E. Shelkunova. Balans ob'ektivnykh i sub'ektivnykh faktorov kak osnovopolagayushchij princip izmereniya ekonomicheskogo blagopoluchiya cheloveka//Ekonomika Rossii v XXI veke//Sbornik nauchnykh trudov XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 110-letiyu ekonomicheskogo obrazovaniya. Tomskij Politekhnicheskij Universitet. 2014. S. 422-426.
32. A. I. Gagarin, T. A. Lebedeva. Ocenka social'nykh funkcij lesnykh landshaftov Sibiri i Urala//Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologij. № 1 (12). 2010. S. 161-173.
33. <https://russiaindustrialpark.ru/lesopromyshlenny-park-asinovskiy>.
34. A. V. Kondratyuk. Metodicheskij podhod k formirovaniyu strategii ekonomicheskoy ustojchivosti holdingovykh sistem lesopromyshlennogo kompleksa//Vestnik moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoj vestnik. № 5. 2008. S. 139-142.
35. A. V. Kondratyuk. Osobennosti finansovoj strategii holdingovykh sistem//Vestnik rossijskogo ekonomicheskogo universiteta im. G. V. Plekhanova (Moskva). № 6. 2007. S. 74-80.
36. J. Lenglet, S. Cauria. Territorialisation et écologisation dans la filière forêt-bois française: une rencontre fortuite?//Développement durable et territoires. Vol. 11, № 1. Avril 2020. 23 p.
37. A. Niang, S. Bourdin, A. Torre. L'économie circulaire, quels enjeux de développement pour les territoires?//Développement durable et territoires. Vol. 11, № 1. Avril 2020. 17 p.