

Комплексное моделирование лесопромышленных комплексов в парадигме устойчивого развития и формирования экономики замкнутого цикла

Integrated modeling of forest industries in the paradigm of sustainable development and the formation of a circular economy

doi 10.26310/2071-3010.2020.257.3.013



Б. О. Калужный,
аспирант, Томский политехнический университет, г. Томск/Университет Бургундии Франш-Конте, 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

Статья посвящена разработке комплексной модели лесопромышленного комплекса (ЛПК) на примере Томской области с целью эффективного решения проблемы древесных отходов. Необходимость моделирования с использованием подходов экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ) и устойчивого развития (УР) обусловлена тесной взаимосвязью проблемы древесных отходов с другими экологическими, экономическими и социальными проблемами [1], требующими комплексного подхода к анализу. Комплексное моделирование ЛПК Томской области, формирующее представление о явлениях, процессах и взаимодействии между его различными субъектами, проведено на макро- и мезоуровнях, что позволило максимально полно охарактеризовать объект анализа — ЛПК как мягкую систему (систему со сложным слабоструктурированным проблемным полем). В результате создана теоретическая база для общего понимания изучаемой системы, создания инструментов прогнозирования и перехода к анализу на микроуровне — рассмотрение путей эффективного внедрения технологий реализации отходов на предприятии.

The article is devoted to the development of an integrated modeling of the timber industry complex on the example of the Tomsk region in order to effectively manage the problem of wood waste. Necessity for modeling with the use of circular economy and sustainable development approaches is conditioned by the close interrelation of wood waste problem with other ecological, economic and social problems [1], which require an integrated analysis. The integrated modeling of the Tomsk region timber industry complex, forming a representation of phenomena, processes and interactions between its various subjects, is carried out at macro and meso levels in order to characterize as fully as possible the object of analysis — the timber industry complex as a soft system (a system with a complex weakly structured problem field). As a result, a theoretical basis is created for the general understanding of the system under study, the creation of forecasting tools and the transition to micro-level analysis — the consideration of ways to effectively implement waste management technologies at enterprise level.

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

Keywords: timber industry complex, waste, circular economy, sustainable development, system analysis, soft system analysis, modeling, integrated modeling.

Постановка проблемы. Актуальность

Актуальность настоящей работы определяется выделением важнейшей злободневной проблемы и необходимостью ее решение в обозримом будущем [35]. Проведен анализ проблем развития ЛПК на примере Томской области и РФ [1]. Такой важнейшей проблемой определена проблема отходов, формирующихся по всей цепочке от заготовки древесины до конечного потребления. Доказано, что проблема отходов находится во взаимосвязи с другими экологическими, экономическими и социальными проблемами.

В Томской области, отходы составили в 2018 г. около 2,5 млн м³. При планируемом кратном увеличении объемов заготовки и переработки древесины кратно возрастут и объемы отходов, что является большой угрозой не только для развития лесной отрасли в целом, но и для экологической безопасности. Переход к эффективной и глубокой переработке древесины должен быть направлен на максимальную реализацию отходов. Для решения проблемы отходов, показана необходимость постановки задачи моделирования исследуемого объекта с использованием подходов ЭЗЦ [1].

Целеполагание для разработки модели задается понятием «УР». УР может быть определено как удовлетворение потребностей нынешнего поколения, без

ущерба для возможности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. Данный подход требует больших изменений мировоззрения, приоритетов и ценностей для развития общества в целом [2].

При определении целей моделирования системы ЛПК возникают две серьезные проблемы. Во-первых, определение «УР» имеет всеобъемлющий, мировоззренческий характер. Для того чтобы оно стало «рабочим» определением, необходима его «привязка» к конкретному объекту, причем в этом объекте должно отражаться взаимодействие природы, экономики и человеческого сообщества. Во-вторых, выбранный объект анализа «система ЛПК» относится к классу мягких систем, для которых характерно сложное слабоструктурированное проблемное поле, включающее в себя пересекающиеся разные сферы УР. В целом, для мягких систем характерны неясность структуры проблем и множество возможных путей решений [3, 4]. Важно отметить, что данные проблемы возникают на различных уровнях (от производства отдельных продуктов до взаимодействия природы и человека) и в различных формах (экологической, экономической, социальной).

Одним из инструментов анализа мягких систем является комплексное моделирование [4]. Для этого

из всей массы проблем, проанализированных и классифицированных в работе [1], выделим несколько групп однородных проблем разного уровня, которые позволят определить цели моделирования и разработать совокупность согласованных моделей исследуемого объекта.

Цель и задачи работы

Цель работы — разработать комплексную модель «мягкой» системы лесопромышленного комплекса Томской области с использованием подходов экономика замкнутого цикла, как инструмента достижения целей устойчивого развития.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить уровни анализа и необходимое количество согласованных субмоделей комплексной модели исследуемых явлений и процессов.
2. Разработать совокупность моделей макроуровня, формирующих видение явления.
3. Разработать совокупность моделей мезоуровня, формирующих видение процессов эффективного решения проблемы отходов.

Методы исследования. Используемые материалы

1. Комплексное моделирование использования лесных ресурсов с точки зрения устойчивого развития лесопромышленных комплексов, на примере Российской Федерации и Томской области.
2. Комплексное моделирование образования отходов из древесины с точки зрения проблем реализации подходов экономики замкнутого цикла, на примере ЛПК Томской области.
3. Используемые источники информации:
 - научные статьи;
 - аналитические и нормативные документы мирового и федерального уровня;
 - аналитические и нормативные документы регионального уровня;
 - федеральная статистика;
 - ведомственная отчетность.

Согласованность моделей

Идея комплексного моделирования заключается в построении согласованной совокупности моделей выбранного объекта (явлений и процессов) на различных уровнях анализа и с различных точек зрения. Данный метод мягкого системного анализа позволяет получить общее понимание объекта и предсказать возможные изменения в системе в целом под воздействием внешних и внутренних факторов. Комплексное моделирование дает возможность сконструировать согласованную совокупность моделей экономических подсистем, которые могут быть использованы для улучшения характеристик объекта, рационализации способов его построения, управления и т. д. Экономические подсистемы включают в себя экономическую науку (теорию), экономическую политику (принятие экономических решений) и хозяйственную практику

(совокупность действующих экономических объектов, процессов, проектов и их хозяйственных результатов) [5]¹.

В настоящем исследовании предлагается, исходя из цели, использовать два уровня обобщения.

Первый уровень — это моделирование использования стратегического природного ресурса (лес) при создании ценностей и формировании угроз в парадигме устойчивого развития взаимодействующих природной, экономической и социальной сфер (макроуровень).

Второй (мезо) уровень — это моделирование цепочки природа–экономика–человек в парадигме «ЭЗЦ» с выделением ключевых процессов и экономических субъектов.

Модель макроуровня позволяет разработать две классификации проблем развития выбранного объекта анализа: первая классификация по основанию «создаваемые ценности трех сфер УР», и вторая — по основанию «факторы производства». Моделирование на макроуровне иллюстрирует сложность понятия УР, позволяет выделить основания классификации и перейти ко второму уровню анализа.

На мезоуровне обобщения используется модель потоков. При ее разработке отдельно выделены потоки формирования отходов, что необходимо для анализа и решения одной из главных проблем деятельности ЛПК. Исходя из парадигмы ЭЗЦ, для потоков отходов (выход–вход) рассматриваются возможности их реализации по всей производственной цепочке. Затем, разрабатывается классификация отходов по месту образования и размерно-качественным свойствам, по направлениям реализации, что необходимо для выбора соответствующих технологий переработки. Модели мезоуровня иллюстрируют сложность проблемы реализации отходов и позволяет обозначать возможные пути ее решения.

Необходимо отметить, что подход комплексного моделирования позволяет максимально полно отразить исследуемые процессы и снизить вероятность возможных ошибок при анализе. Моделирование на макро- и мезоуровнях позволяет поставить практическую задачу выбора и внедрения технологий реализации отходов в хозяйственную практику (микроуровень моделирования конкретных производств).

Макроуровень

Первая модель (рис. 1). На макроуровне обобщения выделяются самые глобальные проблемы и ставится цель — сформировать модель видения исследуемой среды (рис. 1).

¹ Каждому из ...аспектов термина (экономика) соответствует своя сфера, или подсистема, экономики в широком смысле: экономическая теория; экономическая политика; управление экономикой; хозяйственная практика. Взаимоотношения этих подсистем многообразны, однако наиболее важные связи относятся к процессу принятия и реализации экономических решений: подготовка решения (экономическая теория) — обсуждение и согласование решений (экономическая политика) — детализация, конкретизация и доведение решений до исполнителей (управление экономикой) — реализация решений (хозяйственная практика) [5].

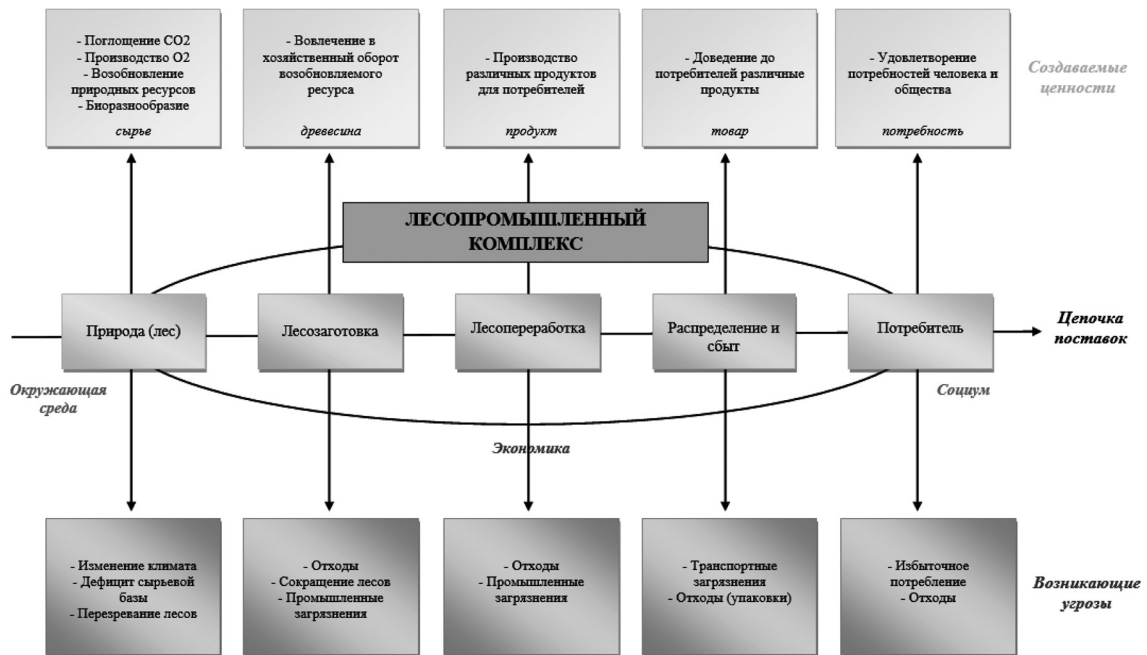


Рис. 1. Процесс создания ценностей (value chain) и угроз (chain of threats) по всей цепочке поставок (supply chain) ЛПК с точки зрения УР трех сфер (environment, economic, social) [1]

Проблема – сложность понимания и оценки всей совокупности формирующихся угроз и ценностей, связанных с использованием лесных ресурсов (value chain, chain of threats).

Целевое ограничение – разработка цепочки трансформации природного ресурса (лес) в конечный продукт для потребителя с точки зрения УР.

Такое представление исследуемого процесса (рис. 1) дает системное видение основных этапов трансформации используемого стратегического ресурса (лес) – лесозаготовка, лесопереработка, распределение и сбыт продукции ЛПК в экономике, их потребление в социуме, а также создаваемых ценностей и формирующихся угроз.

Для общества в целом сохранение природного разнообразия является обязательным условием экономической деятельности и удовлетворения потребностей человека.

В природе, например, лес позволяет регулировать воспроизводство кислорода и поглощение углекислого газа. После океана лес является основным «углеродным стоком» на планете Земля, в котором бореальные леса (тайга) накапливают больше всего углерода [6].

В связи с тем, что экологические функции окружающей среды еще не оценены экономически, они не рассматриваются как значимый компонент процесса создания ценностей. Анализ функционирования ЛПК позволяет выдвинуть гипотезу о возможности получения дополнительных доходов, формируемых за счет экологических и социальных функций лесов [6].

Цепочка формирования ценности дает представление о взаимодействиях в системе природных, экономических и социальных ресурсов, и позволяет оценить возможности и угрозы для человеческого развития.

Древесина является очень ценным сырьем для человека. Она позволяет производить огромное коли-



Рис. 2. Классификация проблем ЛПК по всей цепочке создания ценностей (value chain) с точки зрения УР трех сфер (environment, economic, social) [1]

чество различных продуктов потребления и сохранить поглощаемые углеродные газы в течение всего жизненного цикла продуктов (функция замещения). Также, лес играет очень важную социальную роль для человека. Лес поставляет много разных сортов продуктов животного и растительного происхождения. Это также место для рекреационной деятельности человека. Если его экологические циклы нарушены, то количество и качество сырьевой базы и качество жизни человека будут деградировать [6, 7].

Вторая модель (рис. 2).

Проблема — разнородность проблем развития ЛПК.

Целевое ограничение — классификация проблем по всей цепочке поставок с точки зрения УР и создаваемых ценностей.

В данной модели (рис. 2) показана система ЛПК в виде трех взаимодействующих сфер УР, включающих взаимосвязанные проблем разного уровня [1]. В настоящее время антропогенное влияние на окружающую среду признается чрезмерным, и поэтому в рамках парадигмы УР ставится вопрос о необходимости гармоничного взаимодействия человека и природной среды.

С одной стороны, человек может помочь природе и участвовать в процессах ее восстановления как, например, через проведение санитарных работ. С другой стороны, он может и ухудшать качество функций окружающей среды, что одновременно представляет угрозу для его развития (естественные риски, снижение качества сырьевой базы для производства конечных продуктов и т. д.).

Вышесказанное определяет необходимость глубокого анализа экосистемных услуг, их роли и функции, их естественные процессы регулирования и восстановления. На примере российских лесов доказано, что на данный момент отсутствует система управления лесными ресурсами с учетом экономических (существующая инфраструктура, доступные технологии и техника, нормативная база, и др.) и социальных (потребительский выбор, положительные

природные воздействия на человека) особенностей территорий [1].

При создании создания сбалансированной системы с учетом параметров трех сфер УР возможно ожидать появление положительной динамики, т. е. максимальной защиты окружающей среды в целях обеспечения экономических и социальных нужд общества благодаря высококачественной среде и сырьевой базе.

Третья модель (рис. 3).

Проблема — разнородность проблем развития ЛПК.

Целевое ограничение — классификация проблем развития ЛПК по факторам производства с точки зрения ЭЗЦ.

Данная модель (рис. 3) показывает общее представление о проблемах развития ЛПК с позиций используемых ресурсов: природных, трудовых, материальных, финансовых и т. п. Отходы в этой модели изначально рассматриваются как природный ресурс, который в настоящее время используется неэффективно. Такой взгляд на образование и использование отходов на мезо- и микроуровнях (территориальный ЛПК, предприятие) позволяет перейти к более детальному анализу факторов производства с точки зрения формирования ЭЗЦ (circular economy).

С учетом того, что в Томской области практически каждое второе вырубленное дерево становится отходом, в общем можно сказать о том, что отходы из древесины представляют себя как экологический риск, так и знак нерационального использования стратегического ресурса [1].

Необходимо понимать, что древесные отходы являются ценным сырьем. На данный момент существует огромное количество направлений для их переработки: например, производство химических изделий, строительных материалов, тепла и электроэнергии, биопластиков, древесных плит, кормов для животных, удобрений и др.

Тем не менее, необходимость включения отходов в экономический оборот ЛПК требует анализа возможных изменений в общей системе, т. е. не-

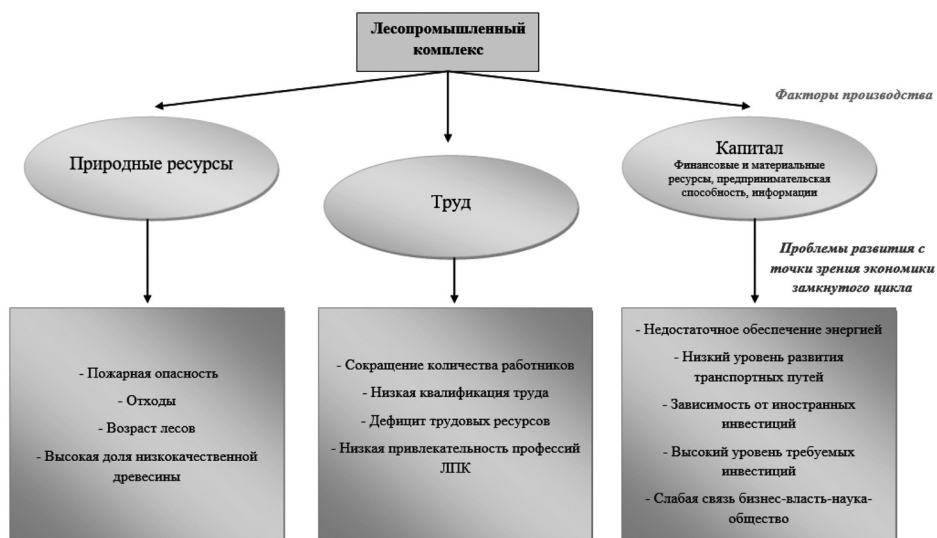


Рис. 3. Классификация проблем развития ЛПК по факторам производства с точки зрения ЭЗЦ (circular economy) [1]

необходимости учитывать дополнительную нагрузку (эффект бумеранга) на окружающую среду, экономику и социум.

Например, в западных странах проблема отходов в лесопромышленности не имеет такого значения как в России [8], что в основном связано с географическим и историческим положением российской территории, доступными технологиями и техникой, существующей инфраструктурой, уровнем образования, институциональной средой и др. Проведение глубокого анализа с точки зрения ЭЗЦ с учетом особенностей Томской области и России позволяет повысить эффективность поиска правильных решений.

Мезоуровень

Четвертая модель (рис. 4). На среднем уровне обобщения выделяется проблема отходов и ставится цель – сформировать модель исследуемых процессов взаимодействия элементов системы ЛПК Томской области как объект анализа.

Проблема – совокупность проблем, связанных с образованием отходов в цепочке поставок ЛПК Томской области, включая 3 сферы УР.

Целевое ограничение – последовательное формирование денежных, материальных и отходных потоков ЛПК Томской области по всей цепочке поставок, от момента извлечения природного ресурса, его переработки, распределения и потребления конечным потребителем.

На рис. 4 показана модель процесса создания продуктов из древесины в Томской области по всей цепочке поставок (supply chain). В модели представлены элементы цепочки поставок и взаимосвязи между ними, проведена оценка по данным статистики и ведомственной отчетности материальных и финансовых потоков [9-12].

В этой системе элемент «лесное хозяйство» выполняет функции учета лесов, организации их воспроизводства и охраны, регулирование лесопользования,

т. е. функции защиты и формирования экосистем и использования лесов как сырьевой базы для лесозаготовки.

Элемент «лесозаготовка» выполняет функции заготовки сырья и его доставки до пунктов переработки. Выделены участники «крупные и средние предприятия», «малые и микропредприятия», которые определяют структуру деятельности и ее перспективы развития. Также показаны элементы «техническая поддержка» и «логистика и транспортировка», которые в большой степени определяют способы и рентабельность процессов лесозаготовки и лесопереработки.

В рамках данной модели отдельно описаны результаты первой и второй трансформации сырья. Это связано с тем, что произведенные товары определяют уровень добавленной стоимости, и, соответственно, степень развития отрасли в целом.

Отдельно приведены потоки отходов, которые являются фокусом исследования. Потоки отходов разделены в зависимости от места их образования, показаны потоки их реализации и потери.

Кроме того, показана целевая аудитория потребителей продукции ЛПК, которая составляет из трех основных групп:

- а) «бизнес 1», которую формируют более крупные, а часто главные, потребители;
- б) «бизнес 2», которую формируют средние и малые, а часто промежуточные, потребители;
- в) «потребители», которая представляет конечных потребителей продукта. Выделен отдельно также элемент «энергия», который представляет важное потребительское направление для товаров и продуктов первой и второй трансформации, так и для продукции, производимой из отходов.

Статистика показывает огромный малоиспользуемый потенциал лесов томского региона. Утверждается, что только 20% лесного фонда на данный момент эксплуатируется. Можно объяснить эту ситуацию тем, что отсутствует эффективная система управления лесами в России в целом [13-16].

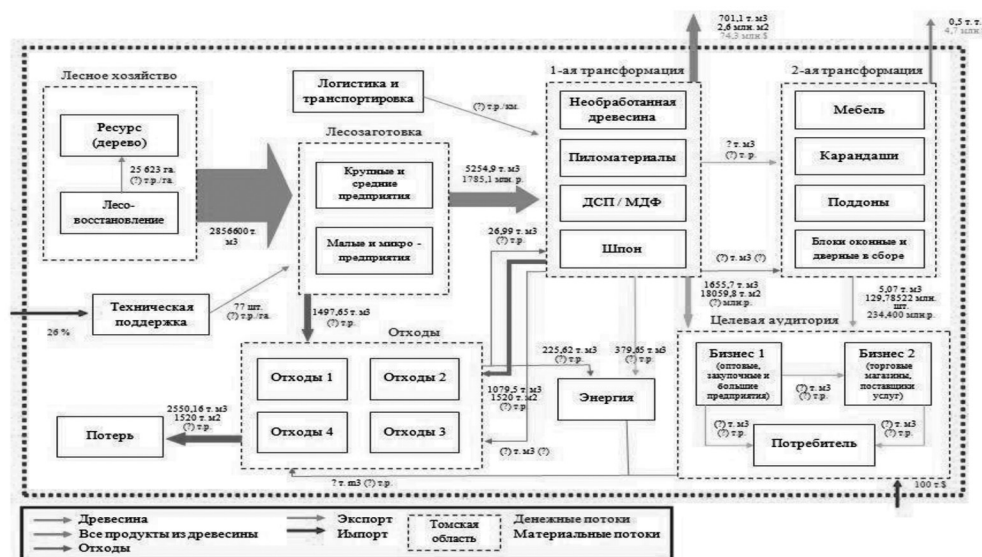


Рис. 4. Процесс создания продуктов из древесины в Томской области по всей цепочке поставок (supply chain) с точки зрения ЭЗЦ (circular economy)

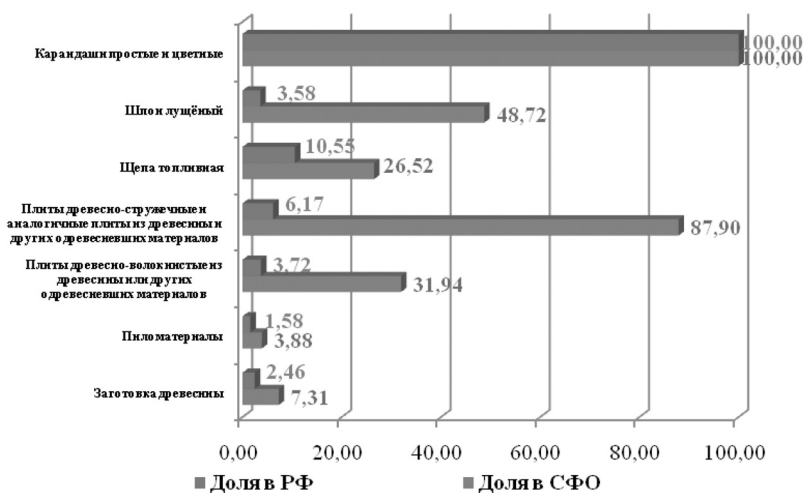


Рис. 5. Доля Томской области в производстве отдельных видов продукции в 2016 г., % [10]

В основном, деятельность ограничена транспортной доступностью [17], низким уровнем обеспеченности техникой и технологией [18], климатическими условиями, низким качеством древесины (69% эксплуатационных лесов относятся к мягколиственным) [9], неудовлетворенным состоянием экономически доступных лесосырьевых баз и требованием высоких инвестиций для развития отрасли в целом [19].

На уровне лесозаготовки в Томской области эти проблемы касаются, в первую очередь, малых и средних форм предприятий, которые представляют почти 90% договоров арендованной расчетной лесосеки [19].

На уровне лесопереработки регион имеет в основном индустрию «первой трансформации», т. е. индустрию с более низкой добавленной стоимостью (рис. 5). Это связано с тем, что качество древесины низкое по сравнению, например, с другими регионами, такими как Иркутская область или Красноярский край. По состоянию на 2016 г. древесные продукты первой трансформации представляют почти 95% валютного экспорта региона, и в основном экспортируются в Китай и страны ближнего зарубежья [10].

Существует также индустрия «второй трансформации», которая в основном касается производства мебели, поддонов, карандашей, оконных и дверных блоков. Уникальность области здесь заключается в существовании единственного производителя в России карандашей и карандашной дощечки из древесины сибирского кедра. Но его деятельность ограничена недостатком сырья из-за запрета на рубку кедра [19].

Самыми перспективными направлениями развития ЛПК являются производство пиломатериалов, плит и энергетических продуктов. Можно здесь отметить существование возможных, но маловероятных на данный момент, инвестиционных проектов по строительству атомной электрической станции и целлюлозно-бумажного комбината, которые бы смогли иметь огромный потенциал для развития лесной отрасли региона [19].

Также планируется запуск завода мощностью 400 тыс. т год по производству пеллет, который представляет собой перспективное направление второй трансформации благодаря развитию потребительских рынков в Южной Корее и Китае [10].

По потреблению продуктов из древесины внутри области данные отсутствуют. В связи с тем, что потребительский выбор играет значительную роль [1, 20] рекомендуется провести дальнейшие исследования.

Отходы являются очень важным материальным потоком (50% от исходных объемов лесных ресурсов), которые мало утилизируются или перерабатываются. При этом на данный момент отсутствует комплексная система управления отходами на всех уровнях цепочки поставок [1].

Кроме того, отходы являются экологическим риском и фактором нерационального использования экономического ресурса [1, 9]. Справиться с этой проблемой стало обязательным условием для развития лесной отрасли Томской области.

Пятая модель (рис. 6).

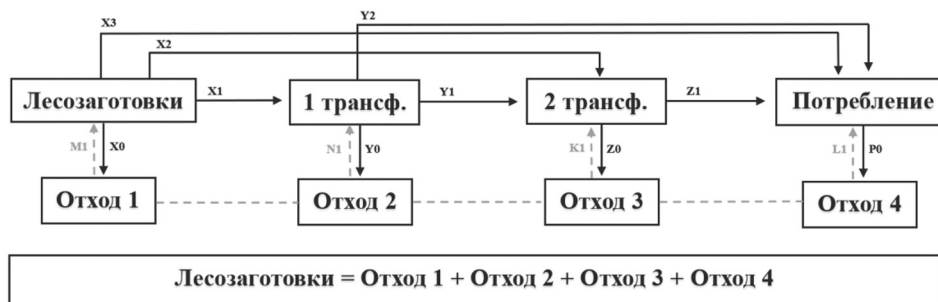


Рис. 6. Процессы образования отходов и возможные пути их реализации для формирования ЭЗЦ по всей цепочке поставок ЛПК

Проблема — совокупность проблем, связанных с реализацией отходов с точки зрения формирования модели ЭЗЦ.

Целевое ограничение — последовательность процессов образования отходов из древесины и возможные пути их реализации.

На рис. 4 показана модель процесса формирования модели ЭЗЦ по всей цепочке с выделением выходных (отходы X_0, Y_0, Z_0, P_0) и входных (вторичные ресурсы M_1, N_1, K_1, L_1) потоков. Элементы и взаимосвязи между ними представлены с использованием принципа межотраслевого баланса, то есть идеи модели «затраты — выпуск» в натуральных формах. Объем лесозаготовки равен сумме всех видов отходов, образованных по всей цепочке.

Анализ доступной информации показал, что отходы из древесины образуются на всех стадиях цепочки поставок и не возвращаются в производство в виде вторичных ресурсов для их реализации. Ситуация осложняется отсутствием достоверной статистики по количеству и качеству образования отходов на уровне страны и региона.

Под процессом формирования ЭЗЦ понимается реализация израсходованных материалов с иерархическим принципом 4R «сокращение — повторное использование — восстановление — переработка» или их выделение в биосферу с минимальным вредным эффектом [21, 22]. Пути к безотходному производству в очень значительной степени зависят от размера вложенных инвестиций, от «умного законодательства», от степени кооперации между участниками процессов, от доступных технологий и новых способов промышленного производства [23, 24].

Для управления новыми процессами требуются замотивированные и высококвалифицированные работники, которые в настоящее время в основном на рынке труда отсутствуют [19, 20]. Дефицит персонала наблюдается и в научно-образовательной сфере [7]. «На данный момент в России, ни один вуз не рассматривает ЭЗЦ как объект исследования и направление подготовки специалистов» [1].

Кроме того, данная модель также позволяет перейти к математическому моделированию проблемы. На ее основе возможно прийти к описанию «идеального»

объекта (или процесса) анализа и предвидеть возможные поведения реального объекта [25].

Шестая модель (рис. 7).

Проблема — совокупность проблем, связанных с созданием стратегии ЭЗЦ и выбором направлений реализации отходов.

Целевое ограничение — классификация образованных древесных отходов по направлениям реализации отходов согласно концепции 4R ЭЗЦ, по месту образования и размерно-качественным свойствам.

Для того, чтобы создать глобальную стратегию внедрения ЭЗЦ и выбрать соответствующие технологий реализации предлагается, во-первых, провести классификацию отходов по месту образования на основе пятой модели и по направлениям реализации согласно концепции 4R. Это позволяет раскрыть потенциальные стратегии по направлениям реализации отходов в системе. Во-вторых, предлагается провести классификацию отходов по размерно-качественным свойствам для того, чтобы выяснить характеристики каждого типа образованных отходов и раскрывать основные направления переработки.

С точки зрения ЭЗЦ, направления реализации отходов отражаются на всех стадиях цепочки поставок [21-24] и включают сокращение отходов (1R), повторное использование (2R) и восстановление (3R) ресурсов, продуктов и товаров, и переработка отходов (4R).

Сокращение использования лесов. В этом случае, каждое не вырубленное дерево позволяет сократить общее количество образованных отходов по всей цепочке от природы до человека, и в итоге сократить общую нагрузку. Данный подход поднимает несколько важных вопросов о возможной выгоде:

1. Какова способность российских и томских лесов увеличить устойчивое развитие страны и всего мира (биоразнообразие, поглощение CO_2 , фильтрация, эрозия и т. д.)?
2. Как отражать эти выгоды и их оптимизировать?

Доказано, например, что российские леса играют очень важную роль в процессе изменения климата, особенно через накопление углерода [6]. Одновременно также доказано, что больше половины томских лесов относятся к спелым и перестойным насаждениям [9].

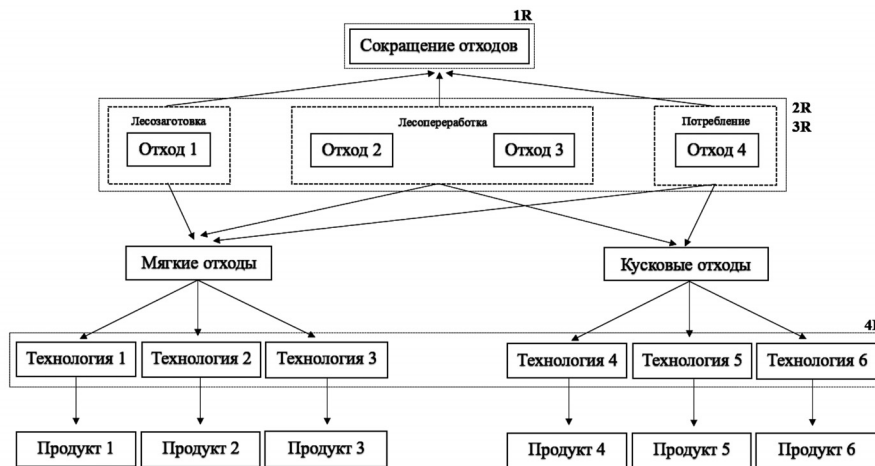


Рис. 7. Классификации древесинных отходов по месту образования, по направлениям реализации и размерно-качественным свойствам

В этом контексте, возникает вопрос о выборе управления лесами для получения максимальной выгоды. С одной стороны, можно увеличить количество вырубок и ускорить процесс восстановления лесов для накопления CO_2 . Но с другой стороны возникает вопрос о использовании новых вырубок и их «углеродные следы» в социально-экономическом процессе, т. е. наличие возможного эффекта бумеранга [1].

Действительно в работе [26] продемонстрировано увеличение локальной переработки древесной продукции во Франции, что позволяет объединить экономический и климатический интересы при уменьшении импорта ассоциированной с энергетической валоризацией (получение топлива для компенсации эмиссий парниковых газов в стране экспорта). Также два исследования [27, 28] показывают на уровне Франции и Европы, что результаты массивного увеличения лесозаготовок повышает эмиссию CO_2 в атмосферу в течение, по крайней мере, трех десятилетий, что не позволяет достичь целей Парижского соглашения.

В случае России, на данный момент не существуют данных о способности лесов и древесных продуктов поглощать и накопить CO_2 [1]. Для получения максимальной выгоды необходимо провести комплексный учет экономического, социального и экологического факторов на основе международного и национальных механизмов платежей (компенсаций) за экосистемные услуги [29]. В итоге, ставится вопрос о том, что устойчивое управление российскими лесами смогло бы позволять заработать больше денег в будущем. В общем, существует острая потребность для России и для мира в целом создать и тестировать модели для оценки углеродных следов лесов, включающие биологические и социально-экономические перемены.

Сокращение количества образованных отходов (1R). Это форма организации, при которой отходы производства и потребления сведены к минимуму. На уровне лесозаготовок («отход 1»), зависит от породы древесины и условий произрастания, возможно сократить общее количество образованных отходов до 5-7% (вместо 20%) общего объема заготавливаемой древесины благодаря вывозки деревьев без обработки габаритов пакета деревьев на лесовозном транспорте. На уровне лесопереработки («отход 2 & 3») параметрами, влияющими на количество отходов, являются объем распиловки, размеры перерабатываемого сырья и используемые технологии [30]. На уровне «постпотребление» («отход 4»), снижение образованных отходов требует необходимости увеличить срок использования конечных продуктов из древесины благодаря повышению качества продукции и возможность восстановления и повторного использования (2R, 3R), что требует структурных изменений в системе, в том числе по защите, сбору и обработке древесинных ресурсов, товаров и продуктов благодаря развитию нормативной базы, менталитетов, доступных технологий и т. д. [8, 31].

4R — это форма организации, при которой обеспечивается обработка отходов для получения сырья, энергии, изделий или материалов. Данное направление включает себя как промышленные, так и бытовые отходы и предполагает, что существует и работает общая

организация по сбору, транспортировке, обработке и продаже отходов. В России переработка древесных отходов получает пока очень мало внимания из-за низкого качества продукции, невысокого спроса, высокой стоимости и недостатков технологий сбора и переработки, адаптированных к условиям страны [1]. Ситуация приводит к большой потере добавленной стоимости (рабочие места, НИОКР, прибыль и т. д.) для страны в целом. Для определения возможностей переработки отходов необходимо изучать их характеристики.

«Отход 1» относится к лесосечным отходам, которые образуются на уровне лесозаготовок. Они представляют собой форму порубочных остатков (сучья, ветки, вершинки, откомлевки), опилки, пни, корни, низкокачественная и неликвидная древесина и могут быть отнесены к мягкому классу отходов. Это менее ценные отходы, имеющие ограниченный спектр утилизации и переработки и часто используемые для хозяйственных нужд (топливо, удобрение) [32, 33].

«Отход 2» и «Отход 3» относятся к отходам от переработки древесины, которые образуются на предприятиях и могут быть отнесены к мягкому или кусковому классу отходов. От лесопиления и механической обработки получают кору, опилки, рейку, горбыль, трещиноватую древесину, стружку, щепу и кусковые отходы. В результате плитного производства образуются кора, отсевы стружки, опилки, шлифовальная пыль и отходы форматной обрезки, а от лесохимического производства — лигнин. Эти отходы имеют большой спектр утилизации и переработки и часто используются в производстве мелкой пилопродукции и клееных заготовок, в изготовлении целлюлозы, спирта или кормовых дрожжей [32, 33].

«Отход 4» относится к отходам «постпотребления» (бытовые отходы). Они образуются на предприятиях (логистические хабы, коммерческие центры, строительные объекты) или у частных лиц, собираются через различные схемы (муниципальные сети, специальные места накопления отходов) и сортируются для их дальнейшей переработки. Они могут быть отнесены как к кусковому классу отходов, так и к мягкому классу благодаря первоначальной переработке. Проблема отходов постпотребления в настоящее время наиболее актуальна в западных странах, например, во Франции, где систематизирован эффективный процесс реализации отходов [8]. Они сортируются по классу «А» и «Б». Класс «А» относится к «необработанным отходам» (побочные продукты переработки необработанной древесины, необработанная и неокрашенная сухая древесина, поддоны и др.), которые обычно реализуются как сырье для получения топлива. Класс «Б» относится к «малообработанным» отходам (древесные плиты, панели, мебели, отходы от строительных сносов без щебня, остатки лесопереработки), которые чаще реализуются как сырье для производства древесных плит [31].

При выборе стратегии ЭЗЦ и соответствующих технологий реализации нужно отметить необходимость определить выходные характеристики системы, т. е. обосновать цель проекта. В данном случае, главный вопрос заключается в возможности увеличить устойчивость системы в целом (экологическую, экономическую, социальную). На примере Франции

[31, 34] доказано, что модель ЭЗЦ в ЛПК основана на производстве топлива, древесных плит, бумаги и картона позволяет обработку 95% промышленных отходов и 80% бытовых отходов из древесины. Показана стратегический роль древесины в развитии возобновляемых источников энергии и локальной экономики. Направления переработки отходов для производства древесных плит, бумаги и картона очень динамичны, имеют высокий потенциал для экспорта продукции, но требуют огромных финансовых вложений и организации. Поэтому обычно эти виды деятельности осуществляются крупными предприятиями, имеющими выход на международные рынки. Также можно отметить, что на примере Франции, показано, что направление переработки промышленных отходов позволяло развивать деятельность переработки бытовых отходов. На сегодняшний день, управление бытовыми древесными отходами заключается в основном в решении логистических и транспортных вопросов.

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. Подход комплексного моделирования позволяет максимально полно отразить исследуемые процессы и снизить вероятность возможных ошибок при анализе.
2. Макроуровень моделирования — это модель процесса использования стратегического природного ресурса (лес) при создании ценностей и формировании угроз в парадигме устойчивого развития взаимодействующих природной, экономической и социальной сфер. Модель макроуровня позволяет разработать две классификации проблем развития выбранного объекта анализа: первая классификация по основанию «создаваемые ценности трех сфер УР», и вторая — по основанию «факторы производства».
- Мезоуровень — это моделирование цепочки природа–экономика–человек в парадигме «ЭЗЦ» с выделением ключевых процессов и экономических субъектов. На мезо уровне обобщения используется модель потоков. При ее разработке отдельно выделены потоки формирования отходов, что необходимо для анализа и решения одной из главных проблем деятельности ЛПК. Исходя из парадигмы ЭЗЦ, для потоков отходов (выход–вход) рассматриваются возможности их реализации по всей производственной цепочке.
- Все это позволяет рассматривать различные пути решения проблемы отходов с учетом понимания особенностей трех сфер УР (экологические, социальные, экономические). Благодаря формированию моделей макро- и мезоуровней можно прогнозировать возможности и угрозы при управлении реализацией отходов в ЛПК.
3. Комплексное моделирование позволяет перейти к выбору технологий реализации отходов и их внедрению в конкретных природно-экономических условиях, т. е. к разработке практической модели лесопромышленного кластера и предприятия.

* * *

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. Развитие и международное экономическое сотрудничество: проблемы окружающей среды//Доклад Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды и развития. 1987. 412 с.
3. А. Т. Зуб, М. В. Локтионов. Стратегический менеджмент. Системный подход. М.: Генезис, 2011. 848 с.
4. И. В. Гумеников, Е. А. Монастырный. Комплексное моделирование социально-экономических процессов и систем. Мягкий системный анализ//Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов V Международной научной конференции, 17-21 декабря 2018 г. Ч. 2. Томск: Изд-во ТПУ, 2018. С. 437-443.
5. Г. Б. Клейнер. Экономика. Моделирование. Математика. Избранные труды. Российская академия наук, Центральный экономико-математический институт РАН, 2016. 856 с.
6. S. Martel, L. Casset, O. Gleizes. Forests et carbone: comprendre, agir, valoriser. Institut pour le developpement forestier. 2015.
7. Прогноз развития лесного сектора российской федерации до 2030 г. Продовольственная и сельскохозяйственная Организация Объединенных Наций. Рим, 2012.
8. Б. Калужный. Анализ проблем развития лесопромышленного комплекса при формировании модели экономики замкнутого цикла. Сравнительный анализ на примере Томской области и Франции//Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 23-26 апреля 2019 г. Т. 5: «Экономика и управление». Томск: Изд-во ТПУ, 2019. С. 78-80.
9. Лесной план Томской области (2009-2018 гг.). Кн. 1. Департамент лесного хозяйства Томской области — ОАО «Лесин-вест».
10. Программа развития Лесопромышленного кластера Томской области. Т. 1. Томск: Департамент развития предпринимательства и реального сектора экономики Томской области, 2017.
11. Управление статистики цен и финансов. Федеральная служба государственной статистики, ЕМИСС. <https://www.fedstat.ru>.
12. Статистический ежегодник 2016. Томск: Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Томской области, 2016.
13. Н.А. Моисеев. Финансовый кризис в лесном хозяйстве и пути выхода из него//Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2016. Изд-во: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (Архангельск). № 6 (354). С. 9-16.
14. И. А. Клейнхоф. Теоретические вопросы стратегического управления устойчивым развитием лесного сектора экономики//Вестник Московского государственного университета леса — лесной вестник. 2010. № 1. С. 154-159.
15. С. В. Степанов. Направления и механизмы государственного участия в развитии лесного сектора российской федерации//Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник, 2014. № 3 (102). С. 50-55.
16. Ю. Ш. Блам, Л. В. Машки, Ж. А. Идрисова. Оценка последствий реформирования институциональной среды Функционирования лесного комплекса//Интерэкспо ГЕО-Сибирь. Т. 3. № 1. Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2017.
17. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г. М.: Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, 2017.
18. Е. А. Тихомиров. Сетевое сотрудничество как инструмент повышения эффективности российского лесопромышленного комплекса//Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: «Экономика и право». 2015. № 11-12. С. 69-74.
19. Доклад о стратегии развития лесопромышленного комплекса Томской области на период до 2025 г. Департамент развития предпринимательства и реального сектора экономики Томской области. Томск, 2013.

20. Т. Рыбакова. Кадровая недостаточность. Лесная промышленность и упаковка//kommersant.ru. 2013. № 52. С. 26.
21. В. 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.
22. Б. Калужный. Экономика замкнутого цикла — новая парадигма//Научно-практический журнал «Твердые бытовые отходы». Апрель, 2018 г. № 4. С 8-9.
23. L. Georgeault, V. Auzé. Economie circulaire : systeme economique et finitude des ressources. De Boeck Supérieur, 2016.
24. S. Erkman. Vers une ecologie industrielle. Comment mettre en pratique le developpement durable dans une societe hyper-industrielle/Ed. Charles Léopold Mayer. Paris, 2004.
25. Ю.Ш. Блам, Л.В. Машкина. Построение иерархического набора моделей: от стоимостной ОМММ к отраслевой модели в натуральных показателях//Мир экономики и управления. Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2018. № 4. С. 126-139.
26. G. Cevallos, J. Grimault, V. Bellassen. Relocaliser la filiere bois française: une bonne idee pour le climat. I4CE, INRA, 2019.
27. A. Roux, J. F. Dhote at al. Quel role pour les forets et la filiere foret-bois françaises dans l'attenuation du changement climatique? Une etude des freins et leviers forestiers à l'horizon 2050//Rapport d'étude pour le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. INRA, IGN, 2017.
28. A. Valade, S. Luysaert, P. Vallet, S. Njakou Djomo, I. Jesus Van Der Kellen, V. Bellassen. Carbon costs and benefits of France's biomass energy production targets//Carbon Balance and Management. Vol. 13. Article number: 26, 2018.
29. С. Н. Бобылев, А. А. Горячева. Идентификация и оценка экосистемных услуг: международный контекст//Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики. № 1, 2019. С. 225-236.
30. В. В. Коробов, Н. П. Рушнов. Переработка низкокачественного сырья (проблемы безотходной технологии). М.: Экология, 1991. 288 с.
31. L. Guinard, G. Deroubaix, M-L. Roux, A-L. Levét, V. Quint. Evaluation du gisement de dechets bois et son positionnement dans la filiere bois/bois energie//Etude realisee pour le compte de l'ADEME. FCBA, 2015.
32. А. П. Мохирев, Ю. А. Безруких, С. О. Медведев. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования//Инженерный вестник дона. Северо-Кавказский научный центр высшей школы федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону). Т. 36. № 2-2, 2015.
33. 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.
34. Agreste Primeur. Récolte de bois et production de sciages en 2017 (Hausse de la commercialisation de grumes et du bois énergie). № 355. Decembre, 2018.
35. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc1p/4034>.

References

1. В. Kalyuzhnyj, E. A. Monastyrynj. Analiz problem razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa pri formirovanii modeli ekonomiki zamknutogo cikla na primere Tomskoj oblasti//Innovacii. №3. 2019. S. 86-93.
2. Razvitiie i mezhdunarodnoe ekonomicheskoe sotrudnichestvo: problemy okruzhayushchej sredy//Doklad Vsemirnoj komissii po voprosam okruzhayushchej sredy i razvitiya, 1987. 412 s.
3. A. T. Zub, M. V. Loktionov. Strategicheskij menedzhment. Sistemnyj podhod. M.: Genezis, 2011. 848 s.
4. I. V. Gumennikov, E. A. Monastyrynj. Kompleksnoe modelirovanie social'no-ekonomicheskikh processov i sistem. Myagkij sistemnyj analiz//Informacionnye tekhnologii v nauke, upravlenii, social'noj sfere i medicine: sbornik nauchnyh trudov V Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, 17-21 dekabrya 2018 g. Tomsk: Izd-vo TPU, 2018. Ch.2. S. 437-443.
5. G. B. Klejner. Ekonomika. Modelirovanie. Matematika. Izbrannye trudy. Rossijskaya akademiya nauk, Central'nyj ekonomiko-matematich. In-t. M.: CEMI RAN, 2016. 856 s.
6. S. Martel, L. Casset, O. Gleizes. Forets et carbone: comprendre, agir, valoriser. Institut pour le developpement forestier. 2015.
7. Prognoz razvitiya lesnogo sektora rossijskoj federacii do 2030 goda. Prodovol'stvennaya i Sel'skohozyajstvennaya Organizaciya Ob'edinennyh Nacij, Rim, 2012.
8. В. Kalyuzhnyj. Analiz problem razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa pri formirovanii modeli ekonomiki zamknutogo cikla. Sravnitel'nyj analiz na primere Tomskoj oblasti i Francii//Perspektivy razvitiya fundamental'nyh nauk: sbornik nauchnyh trudov XVI Mezhdunarodnoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchennyh, 23-26 aprelya 2019 g. Tomsk : Izd-vo TPU, 2019. T. 5: «Ekonomika i upravlenie». S. 78-80.
9. Lesnoj plan Tomskoj oblasti (2009-2018 gg.). Kn. 1. Departament lesnogo hozyajstva Tomskoj oblasti — OAO «Lesin-vest».
10. Programma razvitiya Lesopromyshlennogo klastera Tomskoj oblasti. T. 1. Tomsk: Departament razvitiya predprinimatel'stva i real'nogo sektora ekonomiki Tomskoj oblasti, 2017.
11. Upravlenie statistiki cen i finansov. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki, EMISS. <https://www.fedstat.ru>.
12. Statisticheskij ezhegodnik 2016. Tomsk: Territorial'nyj organ federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Tomskoj oblasti, 2016.
13. N. A. Moiseev. Finansovyj krizis v lesnom hozyajstve i puti vyhoda iz nego//Izvestiya vysshih uczebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal, 2016. Izd-vo: Severnyj (Arkticheskij) federal'nyj universitet imeni M. V. Lomonosova (Arhangel'sk). № 6 (354). S. 9-16.
14. I. A. Klejnhof. Teoreticheskie voprosy strategicheskogo upravleniya ustojchivym razvitiem lesnogo sektora ekonomiki//Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa — lesnoj vestnik. 2010. № 1. S. 154-159.
15. S. V. Stepanov. Napravleniya i mekhanizmy gosudarstvennogo uchastiya v razvitiu lesnogo sektora rossijskoj federacii//Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Lesa — Lesnoj vestnik. 2014. № 3 (102). S. 50-55.
16. Yu. Sh. Blam, L. V. Mashki, Zh. A. Idrisova. Ocenka posledstvij reformirovaniya institucional'noj sredy Funkcionirovaniya lesnogo kompleksa//Interesko geo-sibir'. T. 3. № 1. Novosibirsk: Sibirskij gosudarstvennyj universitet geo-sistem i tekhnologii, 2017.
17. Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossijskoj Federacii do 2030 g. M.: Ministerstvo promyshlennosti i trgovli Rossijskoj Federacii, 2017.
18. E. A. Tihomirov. Seteivo sotrudnichestvo kak instrument povysheniya effektivnosti rossijskogo lesopromyshlennogo kompleksa//Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Ekonomika i pravo. 2015. № 11-12. S. 69-74.
19. Doklad o strategii razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa Tomskoj oblasti na period do 2025 g. Departament razvitiya predprinimatel'stva i real'nogo sektora ekonomiki Tomskoj oblasti. Tomsk, 2013.
20. Т. Рыбакова. Кадровая недостаточность. Лесная промышленность и упаковка//kommersant.ru. 2013. № 52. С. 26.
21. В. 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.
22. В. Kalyuzhnyj. Ekonomika zamknutogo cikla – novaya paradigma//Nauchno-prakticheskij zhurnal «Tverdye bytovye othody». Aprel', 2018 g. №4. S 8-9.
23. L. Georgeault, V. Auzé. Economie circulaire : systeme economique et finitude des ressources. De Boeck Supérieur, 2016.
24. S. Erkman. Vers une ecologie industrielle. Comment mettre en pratique le developpement durable dans une societe hyper-industrielle. Editions Charles Léopold Mayer, Paris, 2004.
25. Yu. Sh. Blam, L. V. Mashkina. Postroenie ierarhicheskogo nabora modelej: ot stoimostnoj OMMM k otraslevoj modeli v natural'nyh pokazatelyah//Mir ekonomiki i upravleniya. Novosibirskij nacional'nyj issledovatel'skij gosudarstvennyj universitet. 2018. № 4. S. 126-139.
26. G. Cevallos, J. Grimault, V. Bellassen. Relocaliser la filiere bois française: une bonne idee pour le climat. I4CE, INRA, 2019.
27. A. Roux, J. F. Dhote at al. Quel role pour les forets et la filiere foret-bois françaises dans l'attenuation du changement climatique? Une etude des freins et leviers forestiers à l'horizon 2050//Rapport d'étude pour le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. INRA, IGN, 2017.
28. A. Valade, S. Luysaert, P. Vallet, S. Njakou Djomo, I. Jesus Van Der Kellen, V. Bellassen. Carbon costs and benefits of France's biomass energy production targets//Carbon Balance and Management. Vol. 13. Article number: 26, 2018.
29. С. Н. Бобылев, А. А. Горячева. Идентификация и оценка экосистемных услуг: международный контекст//Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». № 1. 2019. С. 225-236.
30. В. В. Коробов, Н. П. Рушнов. Переработка низкокачественного сырья (проблемы безотходной технологии). М.: Экология, 1991. 288 с.
31. L. Guinard, G. Deroubaix, M-L. Roux, A-L. Levét, V. Quint. Evaluation du gisement de dechets bois et son positionnement dans la filiere bois/bois energie//Etude realisee pour le compte de l'ADEME. FCBA, 2015.
32. А. П. Мохирев, Ю. А. Безруких, С. О. Медведев. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования//Инженерный вестник дона. Северо-Кавказский научный центр высшей школы федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону). Т. 36. № 2-2, 2015.
33. 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.
34. Agreste Primeur. Récolte de bois et production de sciages en 2017 (Hausse de la commercialisation de grumes et du bois énergie). № 355. Decembre, 2018.
35. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc1p/4034>.