

Ирис Левандовски · Лина Майорга-Дуарте ·
Филипп Шойрих · Рикардо Варгас-Карпинтеро ·
Валентин Шлехт · Ян Вайк *Редакторы*

Биоэкономика

Содействие переходу к устойчивой
биоэкономике

Второе издание



UNIVERSITY OF
HOHENHEIM

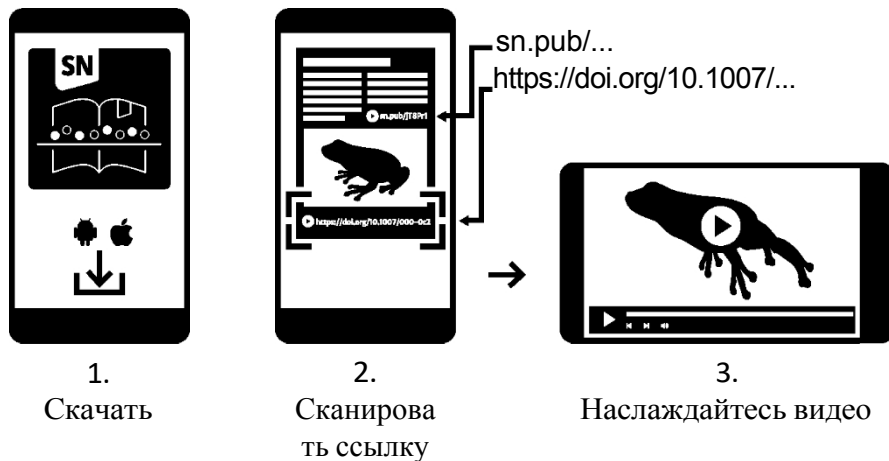
OPEN ACCESS



Springer

Биоэкономика

Springer NatureMoreMediaApp



Поддержка: customerservice@springernature.com

Ирис Левандовски • Лина Майорга-Дуарте Филипп
Шойрих • Рикардо Варгас-Карпинтеро Валентин
Шлехт • Ян Вайк
Редакторы

Биоэкономика

Содействие переходу к устойчивой биоэкономике

Второе издание




Springer



UNIVERSITY OF
HOHENHEIM

Редакторы

 Ирис Левандовски
(Iris Lewandowski)
Институт
растениеводства
, кафедра биоресурсов в
биоэкономике Университет
Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Филипп Шойрих
Кафедра биоресурсов в биоэкономике
(340b) Университет Хоэнхайма,
Штутгарт, Германия

Валентин Шлехт Институт
, кафедра биоресурсов в
биоэкономике Университет
Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Контактное лицо по вопросам редакции:
Аннетт Клаус

Лина Майорга-Дуарте
Кафедра биоресурсов в биоэкономике
(340b) Университет Хоэнхайма,
Штутгарт, Германия

Рикардо Варгас-Карпинтеро Кафедра
биоресурсов в биоэкономике (340b)
Университет Хоэнхайма, Штутгарт,
Германия

Ян Вайк Институт
растениеводства
, кафедра биоресурсов в
биоэкономике Университет
Хоэнхайма, Штутгарт, Германия



ISBN 978-3-032-09097-3

ISBN 978-3-032-09098-0 (электронная книга)

<https://doi.org/10.1007/978-3-032-09098-0>

Эта работа была поддержана Ирис Левандовски.

© Редакторы (если применимо) и авторы 2018, 2026. Данная книга является публикацией с открытым доступом.

Открытый доступ. Эта книга лицензирована в соответствии с условиями международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает использование, обмен, адаптацию, распространение и воспроизведение на любом носителе или в любом формате при условии указания соответствующей ссылки на оригинального автора (авторов) и источник, предоставления ссылки на лицензию Creative Commons и указания, были ли внесены изменения.

Изображения или другие материалы третьих лиц, содержащиеся в данной книге, включены в лицензию Creative Commons книги, если иное не указано в строке с указанием авторства материала. Если материал не включен в лицензию Creative Commons книги, а предполагаемое вами использование не разрешено законодательством или выходит за рамки разрешенного использования, вам необходимо получить разрешение непосредственно у владельца авторских прав. Использование общих описательных названий, зарегистрированных наименований, товарных знаков, знаков обслуживания и т. д. в данной публикации не означает, даже при отсутствии конкретного заявления, что такие названия освобождены от действия соответствующих законов и нормативных актов о защите и, следовательно, свободны для общего использования.

Издатель, авторы и редакторы полагают, что советы и информация, содержащиеся в данной книге, являются достоверными и точными на дату публикации. Ни издатель, ни авторы, ни редакторы не дают каких-либо гарантий, явных или подразумеваемых, в отношении материалов, содержащихся в данной книге, а также в отношении возможных ошибок или упущений. Издатель сохраняет нейтралитет в отношении юрисдикционных претензий, связанных с опубликованными картами и принадлежностью к организациям.

Данное издание серии Springer выпущено зарегистрированной компанией Springer Nature Switzerland AG
Юридический адрес компании: Gewerbstrasse 11, 6330 Cham, Switzerland При

утилизации данного издания просим переработать бумагу.

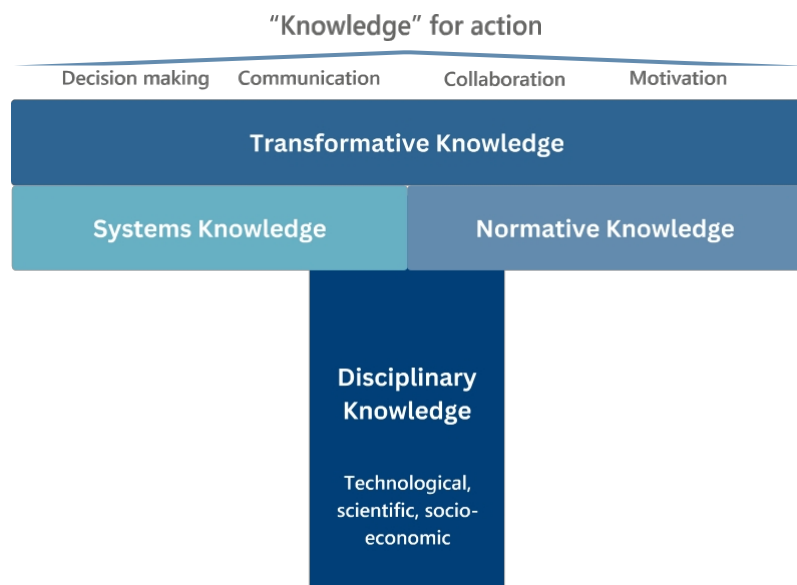
Этот учебник посвящен проф. д-ру Стефану Дабберту, ректору Университета Хоэнхайма, который, к сожалению, скончался 1 октября 2024 года, когда книга находилась на стадии редакционной доработки. Проф. д-р Дабберт всегда был убежденным сторонником биоэкономики в научной и учебной деятельности Университета Хоэнхайма. Его дальновидное руководство и непоколебимая приверженность стремлению к лучшему для Хоэнхайма будут и впредь вдохновлять всех нас.

Предисловие

В октябре 2014 года была запущена магистерская программа «Биоэкономика» как совместная магистерская программа всех трех факультетов Университета Хоэнхайма, а именно факультета сельскохозяйственных наук, факультета естественных наук и факультета бизнеса, экономики и социальных наук. Концепция магистерской программы «Биоэкономика» основана на интегрированном подходе к циркулярной, устойчивой системе биоэкономики, которая функционирует в пределах планетарных границ и явно учитывает потребности людей. Для реализации этой концепции мы разработали T-образный профиль (см. рис. 1), который иллюстрирует, как студенты с разным дисциплинарным образованием учатся вместе и приобретают междисциплинарные и трансдисциплинарные навыки, а также знания в области устойчивого развития и трансформации.

Первое издание этого учебника, разработанного и написанного студентами и преподавателями магистерской программы, вышло в свет в 2018 году. С тех пор глобальная биоэкономика превратилась в практический подход к обеспечению устойчивого развития. Были разработаны новые и инновационные технологии производства, поставок, преобразования и использования биоресурсов и биологических знаний, а также более 70 стратегий биоэкономики на различных уровнях, включая национальный, региональный и местный. В результате расширилась база знаний о биоэкономике, описанная в данном учебнике.

Стремление отразить эти изменения, обновить содержание и изучить новые возможности включения интерактивных элементов послужило стимулом для подготовки второго издания учебника по биоэкономике. Общая структура учебника сохранилась по сравнению с первым изданием и включает в себя анализ биооснованной цепочки создания стоимости,



○ **Рис. 1** T-образный профиль квалификации

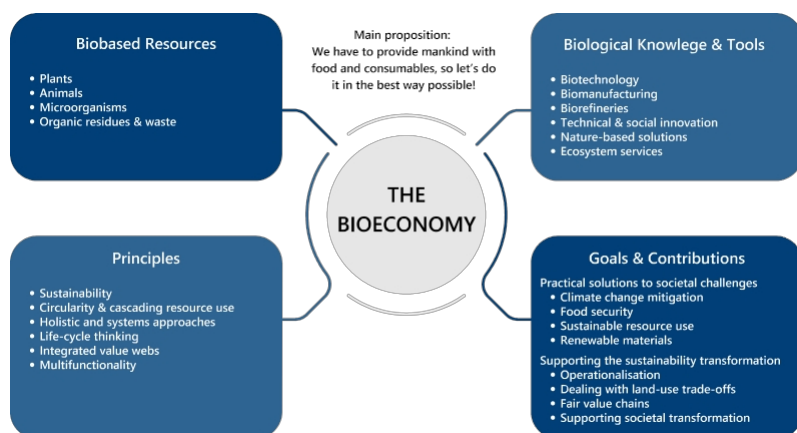
отражая междисциплинарный и трансдисциплинарный характер биоэкономики. Содержание охватывает производство и поставку биомассы, ее переработку и преобразование в различные продукты, а также связанные с этим рынки. Это контекстуализируется посредством трансдисциплинарных взглядов, например, на системы биоэкономики, инновации, устойчивость и управление.

Во втором издании все главы были обновлены и переработаны для повышения связности и глубины изложения. Это включает увеличение количества глав, посвященных различным источникам биомассы и технологиям ее переработки, а также новые главы о принципах биоэкономики, ее нормативных аспектах и мониторинге. Кроме того, отдельный раздел посвящен рассмотрению точек зрения различных заинтересованных сторон, включая мнения фермеров, потребителей, исследователей и других участников. Примечательно, что в этом издании присутствуют интерактивные элементы, а дополнительный цифровой контент обогащает процесс обучения.

Хотя данный учебник и стремится дать всеобъемлющий обзор темы, сфера биоэкономики зачастую является неосознаваемой. Поэтому основная цель учебника — обеспечить простоту изложения на фоне всей связанной с темой сложности. Описание биоэкономики, представленное в данном учебнике, основано на понимании того, что растущее население мира предъявляет все более высокий спрос на здоровую пищу и возобновляемые ресурсы. Таким образом, главная цель биоэкономики — найти решения для обеспечения этих благ наилучшим из возможных способов.

Биоэкономика использует возобновляемые ресурсы биологического происхождения и знания в области биологии. Она применяет инструменты биотехнологии и биопроизводства, а также подходы биопереработки. Она опирается на технологические и социальные инновации и решения, основанные на природе, и развивает их. Она обеспечивает не только продукты питания и продукты биологического происхождения, но и экосистемные услуги. Она основана на ряде принципов, включая устойчивость и цикличность, и применяет целостные и системные подходы. В ее основе лежит концепция жизненного цикла, а также принципы интегрированных цепочек создания стоимости и многофункциональности. Биоэкономика предлагает практические решения для преодоления общественных вызовов и способствует переходу к устойчивому развитию

(О Рис. 2).



О Рис. 2 Описание биоэкономики

Поскольку область биоэкономики обширна, содержание данного учебника выходит далеко за рамки тем, преподаваемых в рамках двухлетней магистерской программы по биоэкономике в Университете Хонхайма. Чтобы охватить весь спектр биоэкономики, к работе над книгой были приглашены эксперты из-за пределов университета. В результате этот всеобъемлющий учебник предназначен не только для студентов университетов, но и для других читателей, желающих систематически изучить биоэкономику. В нем найдут для себя полезную информацию как читатели, заинтересованные в целостном представлении о данной теме, так и те, кто стремится глубже понять какой-либо конкретный аспект биоэкономики.

Ирис Левандовски

Штутгарт, Германия

Лина Майорга-Дуарте

Штутгарт, Германия

Филипп Шойрих

Штутгарт, Германия

Рикардо Варгас-Карпинтеро

Штутгарт, Германия

Валентин Шлехт

Штутгарт, Германия

Ян Вайк

Штутгарт, Германия

Об этой книге

Уважаемый читатель,

мы тщательно разработали этот учебник, чтобы поддержать вас в процессе обучения и помочь вам освоить ключевые концепции биоэкономики в увлекательной и структурированной форме. Хотя учебник в первую очередь предназначен для студентов, изучающих биоэкономику, его содержание разработано таким образом, чтобы быть доступным для широкого круга читателей. Независимо от того, изучаете ли вы смежную дисциплину или просто хотите глубже понять биоэкономику, благодаря понятным объяснениям и интерактивным элементам обучения эта книга подойдет любому, кто стремится изучить биоэкономику. С этой целью учебник состоит из шести частей, каждая из которых включает несколько глав, посвященных общим тематическим областям:

Часть I: Контекст, концепции и принципы биоэкономики

В первой части учебника рассматриваются контекст и роль биоэкономики в решении глобальных проблем (гл. 1). В ней объясняются различные концепции биоэкономики (гл. 2) и исследуют ее основополагающие принципы, включая устойчивость, многомерность, многофункциональность, циркулярность, каскадное использование ресурсов, междисциплинарность и трансдисциплинарность, а также подход целостного системного мышления (гл. 3). В заключительной главе рассматриваются биосознанные цепочки создания стоимости и сети на биологической основе как основу систем биоэкономики (гл. 4, т. 7).

Часть II: Системы производства биомассы

Биоэкономика использует два основных ресурса: (1) биомассу, которая происходит прямо или косвенно от растений, микроорганизмов или животных, и (2) биологические знания. Биоэкономисты должны глубоко понимать эти ресурсы, чтобы эффективно разрабатывать стратегии обеспечения ресурсами, определять наиболее подходящие источники биомассы для цепочек биопродуктов и оптимизировать эти цепочки.

Поэтому вторая часть учебника начинается с рассмотрения происхождения и характеристик биомассы, а также ключевых технологий, используемых для адаптации этих характеристик. В ней также освещаются инструменты биологических знаний и их применение в биоэкономике

(Гл. 7, разд. 5). В книге рассматриваются механизмы, лежащие в основе систем первичного производства биомассы в сельском хозяйстве (Гл. 7, разд. 6), включая растениеводство и животноводство, а также лесное хозяйство (Гл. 7, разд. 8), которое вместе с сельским хозяйством составляет основу производства и поставок ресурсов

поставки ресурсов в биоэкономике. Эти сектора представляют собой основную деятельность по производству и поставке ресурсов в биоэкономике и играют ключевую роль в обеспечении биомассой для производства продуктов питания, кормов, а также для использования в материальных, химических и энергетических целях.

В настоящее время примерно 33 % суши Земли (около 4 900 млн га) занято под сельскохозяйственное производство, обеспечивающее средства к существованию 2,5 млрд человек. Леса, покрывающие около 31 % суши Земли (около 4,06 млрд га), являются домом для большей части наземного биоразнообразия планеты и хранят почти столько же углерода, сколько атмосфере. Так называемая «голубая биоэкономика», описанная в 7 гл. 9, опирается на возобновляемые живые водные ресурсы и организмы, такие как ракообразные

ракообразных, моллюсков и рыб как из пресноводных, так и из морских систем, а также микро- и макроводорослей. Значительная часть этих водных ресурсов добывается из природных запасов путем промыслового рыболовства, хотя эта практика привела к истощению популяций некоторых видов рыб. В результате все большее значение приобретает аквакультура различной интенсивности, на долю которой в настоящее время приходится более половины всего производства водных продуктов питания.

7 В главе 7 приводится ряд примеров из области городского сельского хозяйства, включая так называемые системы «сельского хозяйства в контролируемой среде». Аналогичным образом, культивирование микроводорослей (гл. 10) и разведение насекомых (гл. 11) также осуществляются в контролируемых средах,

, хотя большинство съедобных насекомых по-прежнему собирают в дикой природе. 7 Главы 12 и 13 посвящены получению биоресурсов из остаточной биомассы и потоков биогенных отходов. Биомасса, образующаяся в процессе первичного производства и промышленной переработки классифицируется как остаточная биомасса, которая может быть рекуперирована и утилизирована в рамках высокоценных решений биоэкономики. Биогенные отходы, составляющие значительную долю коммунальных отходов, также могут быть преобразованы в ценные биогенные ресурсы при условии их надлежащего сбора, сортировки и переработки. Анаэробное сбраживание и компостирование являются наиболее актуальными процессами переработки для преобразования биогенных отходов в метан (биогаз), удобрения или почвенные

. 7 Глава 14 посвящена последнему из них и исследует, как можно замкнуть циклы питательных веществ путем рециркуляции растительных питательных веществ из различных потоков органических отходов или побочных продуктов, включая навоз, пищевые отходы и даже человеческие экскременты.

Цифровые инструменты все чаще используются для поддержки процессов управления, таких как точное земледелие, которые помогают повысить производительность, а также обеспечить эффективное использование средств производства в сельском хозяйстве на благо окружающей среды.

Глава 15 затрагивает эволюцию и современные тенденции цифрового сельского хозяйства — особенно интеграцию искусственного интеллекта (ИИ) в

сельскохозяйственные технологии. При разработке новых биопродуктов и попытке оценить их рыночные возможности необходимо правильно рассчитать все ожидаемые удельные затраты. В 7 гл. 16 экономика

первичного производства характеризуется особенностями биологической системы производства с сезонными колебаниями и требованиями долгосрочного планирования.

Часть III: Переработка

Основная идея биоэкономики заключается в преобразовании биоресурсов в широкий спектр продуктов в секторах продовольствия, кормов, материалов и энергетики. Учитывая отличительные характеристики биоматериалов, крайне важно выбрать наиболее подходящие технологии преобразования, адаптированные к конкретному применению. Третий раздел

этого учебника посвящен изучению этих методов и технологий преобразования. Поэтому он начинается с рассмотрения факторов, влияющих на использование биоресурсов, и представляет биопереработку как интегративную концепцию для устойчивой промышленной переработки биомассы (7 гл. 17). Биоперерабатывающие заводы используют различные пути переработки биомассы, включая биотехнологические (7 гл. 18) и термохимические (7 гл. 19) процессы преобразования. Учитывая, что обеспечение продовольствием представляет собой наиболее традиционную и, по сути, наиболее важную функцию биоресурсов, в главе 20 представлены фундаментальные знания о качестве пищевых продуктов и технологиях их переработки, в то время как в главе 21 подробно рассматривается производство так называемых аналогов, т. е. растительных альтернативы мясу и молочным продуктам. Использование побочных потоков биологического происхождения в качестве сырья для пищевой промышленности, а также соответствующих побочных Технологические потоки и процессы, используемые для этих целей, описаны в главе 22. С целью учета значительного спроса на волокна биологического происхождения для различных областей применения в главе 23 представлен подробный обзор их свойств и методов извлечения. Биоэнергетика, которая долгое время была традиционным способом использования биоресурсов, является темой главы 24, в которой рассматривается растущая популярность современных биоэнергетических решений, таких жидкое биотопливо в транспортном секторе. Поскольку все эти процессы преобразования все в большей степени опираются на цифровые технологии, в главе 25 обсуждается, как искусственный интеллект (ИИ) создает новые возможности, в частности особенно благодаря цифровизации цепочки поставок продовольствия и появлению «Промышленности 4.0» для биопродуктов. Эта часть завершается рассмотрением методологий оценки затрат на процессы и продукцию в главе 26, предоставляя важнейшие инструменты для оценки экономической жизнеспособности инициатив в области биоэкономики.

Часть IV: Рынки биопродуктов и экономика устойчивой биоэкономики

В четвертой части учебника более подробно рассматриваются функционирование и состояние мирового рынка биопродуктов, а также вопрос о том, как наилучшим образом распределять ограниченные ресурсы в рамках биоэкономики; при этом исследуются взаимодействия рынка с сельскохозяйственными и продовольственными рынками, а также инструменты политики, предназначенные для управления развитием рынка.

Поэтому в главе 27 рассматривается рынок биоресурсов и биопродуктов, при этом анализируются как уже устоявшиеся продукты, такие как биотопливо, так и появляющиеся продукты, такие как биохимикаты и биопластики, которые в будущем, по всей видимости, получат широкое признание на рынке. В главе обсуждаются ключевые факторы, влияющие на спрос и предложение биопродуктов, при этом исследуются как движущие силы, так и ограничивающие факторы, определяющие динамику рынка. Кроме того, в ней представлены несколько инструментов политики, таких как углеродные налоги и обязательные нормы смешивания, которые используются для стимулирования

рост и внедрение биопродуктов. 7 В главе 28 рассматриваются проблемы и ограничения, связанные с дефицитом ресурсов в биоэкономике

, подчеркивая важность оптимального распределения ограниченных ресурсов для обеспечения устойчивости в экономическом, социальном и экологическом измерениях. С этой целью в главе представлена многогранная экономическая концепция, необходимая для развития устойчивой биоэкономики

путем представления подходов: (а) экономики благосостояния, которая фокусируется на максимизации общественного благосостояния с опорой на рыночные механизмы; (б) экологической экономики, которая исследует провалы рынка, особенно связанные с внешними эффектами и общественными благами; и (в) экономики климата и энергетики, изучающей потенциал биоэкономики в смягчении последствий изменения климата.

Часть V: Заинтересованные стороны биоэкономики

Переход к устойчивой экономике требует активного участия заинтересованных сторон, ориентированных на устойчивость, таких как производители и потребители, которые благодаря своему бизнесу, возможностям, целенаправленным предпочтениям и выбору направляют экономическую деятельность ответственным образом. Этот переход должен регулироваться с помощью поддерживающих политик. Кроме того, научные исследования и образование играют ключевую роль в разработке и продвижении инноваций, подготовке кадров для биоэкономики и поддержке необходимого взаимодействия между различными участниками биоэкономики.

Поэтому пятая часть данного учебника посвящена соответствующим заинтересованным сторонам, которые движут биоэкономикой, включая политиков, фермеров, предпринимателей, потребителей и исследователей. Глава 29 содержит углубленный анализ управления биоэкономикой, подробно описывая организации, вовлеченные в биоэкономiku, и их взаимодействие, а также процессы и компоненты, участвующие в формулировании стратегий биоэкономики. Фермеры определены как ключевые заинтересованные стороны в биоэкономике

экономике (гл. 30), а в гл. 31 исследуются различные подходы к управлению устойчивостью на уровне фермерских хозяйств, включая стандарты сертификации, цифровизацию и совместные усилия. В гл. 32 рассматривается возможность трансформации, вызванной инновациями, в направлении основанной на знаниях биоэкономики с применением неошумпетерианской точки зрения, которая подчеркивает сложное взаимодействие в процессах генерации и распространения знаний между компаниями, потребителями и государственными учреждениями.

В главе 33 далее исследуется, как инклюзивные инновации направлены на улучшение условий жизни наиболее уязвимых слоев населения путем интеграции их точек зрения

в инновационные стратегии. Включенность в данном контексте рассматривается в первую очередь как процесс, в котором многочисленные заинтересованные стороны вносят свой вклад в обсуждение целесообразности конкретного проекта инновации. Такая включенность обычно считается необходимым условием для достижения желательных для общества результатов. Предприниматели играют ключевую роль в продвижении перехода к биоэкономике, используя предпринимательские возможности, часто возникающие в результате провалов рынка

(7, гл. 34). Более того, компании в сфере биоэкономики могут применять различные подходы к управлению устойчивостью, включая оценку жизненного цикла

(LCA), сертификацию, должную осмотрительность, прослеживаемость и модели цепочки поставок, все из которых описаны в 7 гл. 35. Потребители также оказывают значительное влияние на развитие биоэкономики через свои решения о покупке. В 7 гл. 36 рассматриваются факторы, влияющие на поведение потребителей, и исследовательские методологии, используемые для анализа

этих факторов, а также стратегии управления потребительским поведением в рамках биоэкономики. Биоэкономика по своей сути решает сложные общественные проблемы, сопряженные с конфликтами на множестве уровней, что требует обширных научных и практических знаний для выработки решений

Глава 37 представляет ключевые определения, принципы и инструменты для проведения междисциплинарных и трансдисциплинарных исследований в контексте биоэкономики

. Эта часть завершается размышлениями о роли «биоэкономиста» в продвижении перехода к устойчивой биоэкономике. Наряду с описанием компетенций и профилей биоэкономистов, в этой главе также освещается образование биоэкономиста

и его карьерных путей (7 гл. 38).

Часть VI: Направление перехода к биоэкономике

Устойчивость является руководящим принципом биоэкономики. Однако биоэкономика сама по себе не является устойчивой. Шестая и последняя часть данного учебника содержит рекомендации по переходу к ориентированной на будущее и устойчивой биоэкономике. Она начинается с размышлений об условиях

для ответственной биоэкономики (7, гл. 39), но также подчеркивает, как биоразнообразие и биоэкономика взаимосвязаны и как возможные синергии и компромиссы между биоразнообразием и биоэкономикой можно описать и понять в контексте концепции экосистемных услуг (7, гл. 40). 7

Глава 41 содержит подробный обзор методов оценки устойчивости в биоэкономике, включая экологические, экономические и социальные методы оценки, описывая, как в идеале следует доводить до сведения результаты оценки устойчивости и как следует проводить оценку устойчивости систем биоэкономики.

Глава 42 описывает, как переход к устойчивой биоэкономике может быть поддержан с помощью моделирования, анализа сценариев и подходов на основе интегрированных моделей, тогда как глава 43 подчеркивает, насколько результаты мониторинга биоэкономики важны для информирования процессов принятия решений

, определяющих переход к устойчивой биоэкономике.

Как пользоваться этой книгой

Для облегчения более глубокого понимания биоэкономики каждый из вышеупомянутых разделов сопровождается интерактивными и вспомогательными учебными элементами, предназначенными для улучшения вашего учебного процесса. Чтобы извлечь максимальную пользу из чтения, мы рекомендуем ознакомиться со следующими краткими разделами, которые дают обзор различных возможностей и ресурсов, предлагаемых этим учебником.

5 Краткая основная информация

В начале каждой главы вы найдете *аннотацию* и список

ключевых слов. Аннотация представляет собой краткое изложение основных моментов главы, дающее вам быстрый обзор того, что вас ждет. Ключевые слова выделяют основные концепции и термины, рассматриваемые в главе, что позволяет вам легко обращаться к ним во время изучения. Мы надеемся, что это послужит полезными ориентирами, особенно при повторном прохождении главы для закрепления материала или подготовки к экзамену.

5 Структурированный учебный план

Чтобы сделать ваш учебный процесс более эффективным, каждая глава начинается с короткого

разделом, содержащим четко сформулированные *цели обучения*. Эти цели — ваш ориентир в том, что вы должны усвоить к концу

главы. Они служат дорожной картой, позволяющей вам сосредоточиться на самых важных аспектах при работе с материалом. Обращайтесь к этим целям до и после чтения, чтобы отслеживать свой прогресс и оценивать процесс обучения.

5 Дидактических элементов для глубокого понимания

Чтобы повысить эффективность обучения, мы включили различные дидактические элементы по всей книге. Они помогут укрепить ваше понимание и обеспечат полное освоение темы каждой главы. Таким образом, вы найдете не только ключевые *определения*, выделяющие важные термины и концепции, но и *примеры*, иллюстрирующие, как эти термины и концепции реализуются в реальных контекстах, что позволит вам увидеть их практическое применение. Для более глубокого изучения конкретных тем мы включили многочисленные экскурсы. Они предлагают дополнительные идеи или сопутствующую информацию, которая обогащает ваше понимание основного текста. Дополнительные вопросы для размышления, советы по дальнейшему чтению, а также упражнения для углубления вашего понимания некоторых частей содержания включены в блоки «*Пицца для размышлений*». Старайтесь прочитать их, чтобы улучшить свое понимание и соотнести прочитанное с собственным опытом и представлениями.

5 Визуальная поддержка обучения

Поскольку просмотр нескольких глав в поисках нужной информации, может быть утомительным, мы включили видео-резюме в начале каждой главы. Эти резюме, представленные с помощью наших виртуальных студенческих послов, должны служить полезным введением, предоставляя визуальное изложение основных тем каждой главы. Просмотр этих видео даст вам первоначальное понимание материала, что облегчит ориентацию в более подробном содержании, которое следует далее. Не стесняйтесь пересмотреть видео после чтения, чтобы закрепить свои знания или прояснить оставшиеся вопросы. Для некоторых глав вы также найдете дополнительные видео, часть которых взята из нашего *массового открытого онлайн-курса (МООС) «Концепции устойчивой биоэкономики»*, дополняющего содержание этой книги, а другие были специально разработаны для улучшения вашего понимания определенной концепции или темы. В то время как наши специально разработанные видеоролики, а также видео-резюме будут доступны непосредственно в тексте книги, вы можете получить доступ к видеороликам, взятым из нашего МООС, как через дополнительные материалы, так и на отдельной платформе курса бесплатно. Чтобы получить доступ к платформе онлайн-курса, следуйте инструкциям ниже:

1. Воспользуйтесь ссылкой ► sn.pub/m03wci для доступа к онлайн-курсу.
2. При первом использовании, пожалуйста, сначала зарегистрируйтесь на учебной платформе.

5. Активное обучение с помощью вопросов и ответов

Чтобы вы могли применить полученные знания на практике, каждая глава заканчивается разделом «*Вопросы и ответы*». Эти вопросы предназначены для проверки вашего понимания и стимулирования размышлений над ключевыми моментами, рассмотренными в главе. Ответы на эти вопросы помогут вам закрепить знания, а в случае затруднений правильные

предоставят вам дополнительные объяснения, разъяснения и альтернативные точки зрения. Студентам рекомендуется работать с этим разделом, так как тот или иной вопрос может оказаться экзаменационным.

5 Обучение в удобном для вас темпе

Когда мы разрабатывали эту книгу, одной из наших главных целей было обеспечить гибкость обучения. Хотя отдельные части и главы знакомят вас с различными аспектами биоэкономики, не стесняйтесь изучать материал в своем собственном темпе. Возможно, вы предпочтете сначала просмотреть видеорезюме, а затем прочитать основной текст или, возможно, сосредоточиться на вопросах, прежде чем погрузиться в содержание. Главное — подходить к материалу так, как лучше всего соответствует вашему стилю обучения и целям.

Объединяя все эти ресурсы, вы сможете работать с книгой всесторонне, активно и с пользой. Обязательно используйте эти возможности, чтобы углубить свое понимание и эффективно применять полученные знания.

Мы надеемся, что эта книга даст вам ценные знания и станет приятным чтением!

С уважением,
Редакционная команда

Содержание

I	Биоэкономика: контекст, концепции и принципы	
1	Контекст	3
	<i>Ирис Левандовски, Лина Майорга-Дуарте, Филипп Шойрих, Валентин Шлехт, Рикардо Варгас-Карпинтеро и Ян Вайк</i>	
2	Концепции биоэкономики	19
	<i>Регина Бирнер, Валентин Шлехт, Ян Вайк, Рикардо Варгас-Карпинтеро и Ирис Левандовски</i>	
3	Руководящие принципы биоэкономики	47
	<i>Валентин Шлехт, Мариэль Тренкнер, Андреа Книрим и Рикардо Варгас-Карпинтеро</i>	
4	Биоснованные цепочки и сети создания стоимости	73
	<i>Рикардо Варгас-Карпинтеро и Валентин Шлехт</i>	
II	Системы производства биомассы	
5	Биоресурсы	99
	<i>Кристиан Цёрб и Ирис Левандовски</i>	
6	Сельскохозяйственное производство	121
	<i>Ирис Левандовски, Мелвин Липпе, Мориц фон Коссель, Эвелин Рейнмут и Хоакин Кастро-Монтойя</i>	
7	Городское сельское хозяйство	161
	<i>Бастиян Винклер</i>	
8	Лесное хозяйство	173
	<i>Герхард Лангенбергер и Мелвин Липпе</i>	
9	«Голубая» биоэкономика	215
	<i>Йоханнес Пухер</i>	
10	Микроводоросли	231
	<i>Себастьян Вайкерт и Константин Фрик</i>	
11	Насекомые	247
	<i>Ирис Левандовски</i>	
12	Остаточная биомасса: происхождение, характеристики, состав	253
	<i>Эвелин Рейнмут и Филипп Шёрих</i>	

13	Управление биогенными отходами	277
	<i>Штефан Зальхофер и Эрвин Биннер</i>	

14	Удобрения на биологической основе: замкнутый цикл питательных веществ путем переработки	287
	<i>Мариэль Тренкнер, Бенедикт Мюллер и Андреа Бауэрле</i>	

15	Цифровизация в сельскохозяйственном производстве	297
	<i>Энтони Стейн</i>	

16	Экономика первичного производства	317
	<i>Кристиан Литперт</i>	

III Переработка

17	Использование биомассы и биоперерабатывающие заводы	335
	<i>Ирис Левандовски и Рикардо Варгас-Карпинтеро</i>	

18	Биотехнологическая переработка	349
	<i>Карин Мосс, Мариус Хенкель и Рудольф Хаусманн</i>	

19	Термохимическая конверсия	365
	<i>Андреа Крузе</i>	

20	Пищевая промышленность	385
	<i>Мириам Лёффлер и Йорг Хинрихс</i>	

21	Заменители молочных и мясных продуктов	403
	<i>Лиза М. Бергер, Моника Гибис и Йохен Вайс</i>	

22	Превращение побочных продуктов биологического происхождения и сырья в пищевые ингредиенты	431
	<i>Марио Йекле, Янника Домбровски, Сандра Ренц и Маргит Йекле</i>	

23	Извлечение волокон для непищевых целей	451
	<i>Мануэль Клаус и Герман Даузер</i>	

24	Биоэнергия: энергия, получаемая из биомассы	459
	<i>Ирис Левандовски</i>	

25	Цифровизация в перерабатывающей промышленности	469
	<i>Элия Хенрихс, Юлия Сенге и Кристиан Крупицер</i>	

26	Оценка затрат на производство и себестоимости продукции	479
	<i>Николаус Дамен, Йорг Зауэр и Симон Водарц</i>	

IV	Рынки биопродуктов и экономика для устойчивой биоэкономики	
27	Рынки биоресурсов и биопродуктов	497
	<i>Кирстен Бойсен-Урбан, Оле Бойсен и Каролина Шиссари</i>	
28	Экономика устойчивой биоэкономики — теория и политика	531
	<i>Франциска Шунеманн, Мариус Боезино, Пранап Патил и Алина Дж. Росса</i>	
V	Заинтересованные стороны биоэкономики	
29	Управление биоэкономикой	559
	<i>Регина Бирнер</i>	
30	Роль фермеров и фермерских ассоциаций	575
	<i>Никола Бюлер, Ребекка Хансен, Тесса Дженсен-Ауверманн, Памела Лавен и Себастьян Хесс</i>	
31	Управление устойчивым развитием на уровне фермерских хозяйств	589
	<i>Ирис Левандовски и Мориц Вагнер</i>	
32	Содействие развитию инновационных систем для перехода к биоэкономике	599
	<i>Андреас Пика и Клаус Преттнер</i>	
33	Инклюзивные инновации в биоэкономике	613
	<i>Лотте Асвельд</i>	
34	Предпринимательские инициативы и биоэкономика	625
	<i>Андреас Кукерц, Элизабет С. К. Бергер, К. Артуро Моралес Рейес и Себастьян Хиндерер</i>	
35	Управление устойчивым развитием на корпоративном уровне	637
	<i>Ирис Левандовски и Мориц Вагнер</i>	
36	Потребители в биоэкономике	645
	<i>Рамона Вайнрих, Стефан Хириш и Лаура Хенн</i>	
37	Междисциплинарные и трансдисциплинарные исследования в биоэкономике	665
	<i>Андреа Книрим, Сангын Бэ, Беатрис Эррера и Патчарин Сae-хенг</i>	
38	The Bioeconomist	693
	<i>Лина Майорга-Дуарте, Ян Ласк, Рикардо Варгас-Карпинтеро и Ян Вайк</i>	

VI Направление перехода к биоэкономике

39	Условия для ответственной биоэкономики	711
	<i>Маркус Фогт</i>	
40	Исследование взаимосвязи между биоразнообразием и биоэкономикой	717
	<i>Арндт Фойербахер, Рикардо Варгас-Карпинтеро, Ян Вайк и Валентин Шлехт</i>	
41	Оценка устойчивости	735
	<i>Ян Вайк, Валентин Шлехт, Нирвана А. Мартинг Видаурре, Ян Ласк и Морцц Вагнер</i>	
42	Моделирование в поддержку перехода к биоэкономике	763
	<i>Кристиан Спонагель, Ян Вайк, Кристиан Троост и Элизабет Ангенендт</i>	
43	Мониторинг биоэкономики	795
	<i>Андреа Камия</i>	

Авторы

Элизабет Ангенендт Институт управления сельскохозяйственными предприятиями, кафедра управления сельскохозяйственными предприятиями, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Лотте Асвельд Кафедра биотехнологии, Секция биотехнологии и общества, Делфтский технологический университет, Делфт, Нидерланды

Сангеун Бэ Институт социальных наук в сельском хозяйстве, Кафедра коммуникаций и консультационных услуг в сельских районах, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Андреа Бауэрле Институт растениеводства, Кафедра биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Элизабет С. К. Бергер Институт предпринимательства, Бизнес-школа JKU, Университет Иоганнеса Кеплера, Линц, Австрия

Лиза М. Бергер Кафедра науки о пищевых материалах, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Эрвин Биннер Институт управления отходами и циркулярности, Университет природных ресурсов и биологических наук (BOKU), Вена, Австрия

Регина Бирнер Институт имени Ганса Рутенберга, Кафедра социальных и институциональных изменений в развитии сельского хозяйства, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Мариус Боззино Институт экономики, Кафедра биоэкономики и вычислительных наук, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Оле Бойсен Школа сельского хозяйства и пищевых наук, Университетский колледж Дублина, Дублин, Ирландия

Кирстен Бойсен-Урбан Институт тропических сельскохозяйственных наук им. Ганса Рутенберга, Отдел международной торговли сельскохозяйственной продукцией и продовольственной безопасности, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Никола Бюлер Институт сельскохозяйственной политики и рынков, Исследовательский центр кооперативов, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Андреа Камия Европейская комиссия, Объединенный исследовательский центр (JRC), Испра, Италия

Хоакин Кастро-Монтойя Институт агропродовольственных и экологических наук, Факультет сельскохозяйственных наук, Университет Сальвадора, Сан-Сальвадор, Сальвадор

Мануэль Клаус Fibers365 GmbH, Леннинген, Германия

Мориц фон Коссель Институт растениеводства, Кафедра биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Николаус Дамен Институт исследований и технологий катализа, Технологический институт Карлсруэ, Карлсруэ, Германия

Герман Даузер Fibers365 GmbH, Леннинген, Германия

Яника Домбровски Центр технологий продуктов питания Nestlé, Отдел науки и технологий, Société des Produits Nestlé SA, Конольфинген, Швейцария

Аридт Фойербахер Институт сельскохозяйственной политики и рынков, Отдел моделирования экономико-экологической политики, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

КомБиоТа — Центр биоразнообразия и интегративной таксономии, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Константин Фрик Институт межфазной инженерии и биотехнологии им. Фраунгофера (IGB), Штутгарт, Германия

Моника Гибис, Кафедра материаловедения пищевых продуктов, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Ребекка Хансен Институт сельскохозяйственной политики и рынков, Исследовательский центр кооперативов, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Рудольф Хаусманн Институт пищевых наук и биотехнологии, кафедра биотехнологических процессов, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Мариус Хенкель Школа наук о жизни ТУМ, Клеточное сельское хозяйство, Технический университет Мюнхена (ТУМ), Мюнхен, Германия

Лаура Хенн Институт образования, труда и общества, кафедра устойчивого поведения и управления, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Элия Хенрихс Кафедра пищевой информатики и вычислительных наук, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Беатрис Эррера Институт социальных наук в сельском хозяйстве, Кафедра коммуникаций и консультационных услуг в сельских районах, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Себастьян Хессе Институт сельскохозяйственной политики и рынков, Исследовательский центр кооперативов, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Себастьян Хиндерер Институт маркетинга и менеджмента, Исследовательская группа по предпринимательству (570С), Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Йорг Хинрихс Институт пищевых наук и биотехнологии, кафедра науки о мягких веществах и молочной технологии, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Стефан Хирш Институт управления сельскохозяйственными предприятиями, кафедра управления в агробизнесе, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Маргит Йекле Кафедра пищевых технологий, SRH Fernhochschule, Ридлинген, Германия

Марио Йекле Институт пищевых наук и биотехнологии, Кафедра растительных продуктов питания, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Тесса Йенсен-Ауверманн Институт сельскохозяйственной политики и рынков, Исследовательский центр кооперативов, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Андреа Книрим Институт социальных наук в сельском хозяйстве, Кафедра коммуникации и консультационных услуг в сельских районах (430а), Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Кристиан Крупицер Кафедра пищевой информатики и вычислительных наук, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Андреа Крузе Институт сельскохозяйственной инженерии, Отдел технологий переработки биоресурсов, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Андреас Кукерц Институт маркетинга и менеджмента, Исследовательская группа по предпринимательству (570С), Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Герхард Лангенбергер Инициатива по устойчивым сельскохозяйственным цепочкам поставок (SASI), Немецкое общество по международному сотрудничеству (GIZ) GmbH, Бонн, Германия

Ян Ласк Институт растениеводства, Отдел биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Памела Лавен Институт сельскохозяйственной политики и рынков, Исследовательский центр кооперативов, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Ирис Левандовски Институт растениеводства, Кафедра биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Мелвин Липпе Институт Иоганна Генриха фон Тюнена, Институт лесоводства, Гамбург, Германия

Кристиан Линперт Кафедра теории производства и экономики ресурсов, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Мириам Лёффлер Технология мяса и наука о продуктах с высоким содержанием белка (MTSP), Кафедра микробных и молекулярных систем, KU Leuven, Гент, Бельгия

Нирвана А. Мартинг Видаурре Подразделение SUSTAIN, Группа LCSA, Люксембургский институт науки и технологий, Эш-сюр-Альзетт, Люксембург

Лина Майорга-Дуарте Институт растениеводства, кафедра биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Карин Мосс Институт пищевых наук и биотехнологии, кафедра биотехнологических процессов, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Бенедикт Мюллер Институт растениеводства, Кафедра биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Пранав Патил Институт экономики, Кафедра биоэкономки и вычислительных наук, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Клаус Претгнер Кафедра экономики, Венский экономический университет (WU), Вена, Австрия

Йоханнес Пухер Федеральный институт оценки рисков, Отдел Немецкого центра по защите лабораторных животных и экспериментальной токсикологии, Берлин, Германия

Андреас Пика Институт экономики, Экономика инноваций, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Эвелин Реймут Институт растениеводства, Отдел биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Сандра Ренц (Sandra Renz) — Центральная лаборатория Хоэнхайма, Отдел аналитической химии и трансфера технологий, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

К. Артуро Моралес Рейес Институт маркетинга и менеджмента, Исследовательская группа по предпринимательству (570С), Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Алина Дж. Росса Институт экономики, Кафедра биоэкономки и центр вычислительных наук, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Патчарин Сае-хенг Институт социальных наук в сельском хозяйстве, Кафедра коммуникаций и консультационных услуг в сельских районах, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Стефан Зальхофер Институт управления отходами и циркулярной экономики, Университет природных ресурсов и биологических наук (BOKU), Вена, Австрия

Йорг Зауэр Институт исследований и технологий катализа, Технический университет Карлсруэ, Карлсруэ, Германия

Филипп Шойрих Институт растениеводства, Кафедра биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Каролина Шлесари Сельскохозяйственный колледж имени Луиса де Кейроза (ESALQ/USP), кафедра экономики, администрации и социологии, Университет Сан-Паулу, Сан-Паулу, Бразилия

Валентин Шлехт Институт растениеводства, Кафедра биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Франциска Шунеманн Институт экономики, Кафедра биоэкономики и центр вычислительных наук, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Юлия Зенге Кафедра пищевой информатики и вычислительных наук, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Кристиан Шпонегель Институт управления сельскохозяйственными предприятиями, кафедра управления сельскохозяйственными предприятиями, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Энтони Штайн Институт сельскохозяйственной инженерии, Кафедра искусственного интеллекта в сельскохозяйственной инженерии, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Мариэль Тренкнер Институт растениеводства, Кафедра биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Кристиан Троост Институт тропических сельскохозяйственных наук им. Ганса Рутенберга, кафедра экономики землепользования, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Рикардо Варгас-Карпинтеро Институт растениеводства, Кафедра биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Маркус Фогт Факультет католического богословия, Университет имени Людвиг-Максимилиана, Мюнхен, Германия

Мориц Вагнер Институт прикладной экологии, Университет Гайзенхайма, Гайзенхайм, Германия

Себастьян Вайкерт Институт растениеводства, Кафедра биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Ян Вайк Институт растениеводства, Кафедра биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Рамона Вайнрих Институт сельскохозяйственной политики и рынков, кафедра потребительского поведения в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Йохен Вайс Кафедра науки о пищевых материалах, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Бастиян Винклер Институт растениеводства, Кафедра биоресурсов в биоэкономике, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Симон Водарц Институт исследований и технологий катализа, Технологический институт Карлсруэ, Карлсруэ, Германия

Кристиан Цёрб Институт растениеводства, Кафедра качества растительной продукции, Университет Хоэнхайма, Штутгарт, Германия

Биоэкономика

Контекст, концепции и принципы

В первой части учебника рассматривается контекст, в котором функционирует биоэкономика, и ее роль в поиске решений глобальных проблем. В ней объясняются концепции биоэкономики и лежащие в ее основе принципы, включая устойчивость, многомерность, многофункциональность, цикличность, каскадное использование ресурсов, междисциплинарность и трансдисциплинарность, а также подход, основанный на целостном системном мышлении. В заключение описываются биооснованные цепочки и сети создания стоимости как основа систем биоэкономики.

Содержание

Глава 1	Контекст – 3
Глава 2	Концепции биоэкономики – 19
Глава 3	Руководящие принципы биоэкономики – 47
Глава 4	Биооснованные цепочки и сети создания стоимости – 73

Контекст

Ирис Левандовски, Лина Майорга-Дуарте, Филипп Шойрих, Валентин Шлехт, Рикардо Варгас-Карпинтеро и Ян Вайк



○ Рис. 1.0 Контекст биоэкономики (▶ <https://doi.org/10.1007/000-htb>)

Содержание

- 1.1 **Ископаемые ресурсы и изменение климата – 4**
 - 1.2 **Биоресурсы – 7**
 - 1.3 **Планетарные границы и ограниченность природных ресурсов: текущее положение – 8**
 - 1.4 **Рост населения и продовольственная безопасность – 11**
 - 1.5 **Роль биоэкономики перед лицом глобальных вызовов, сложных проблем и трансформации в направлении устойчивого развития – 13**
- Список литературы – 17**

Дополнительная информация. Онлайн-версия содержит дополнительные материалы, доступные по адресу https://doi.org/10.1007/978-3-032-09098-0_1. Видеоролики можно просматривать по отдельности, перейдя по ссылке DOI в подписи к соответствующему рисунку или отсканировав эту ссылку с помощью приложения SN More Media.

© Авторы 2026

I. Lewandowski et al. (eds.), *Bioeconomy*, https://doi.org/10.1007/978-3-032-09098-0_1

Ожидается, что будущая биоэкономика станет движущей силой

1

переход к более устойчивой экономике экономики путем решения некоторых из основных глобальных проблем, включая обеспечение продовольственной безопасности, изменение климата, ухудшение состояния окружающей среды и дефицит ресурсов. Растущий во всем мире спрос не только на продовольствие, но и на материалы и возобновляемую энергию требует инновационных разработок в первичных секторах. Инновации должны привести к появлению технологий и методов, более эффективно использующих ресурсы, для повышения производительности в сельском хозяйстве, лесоводстве и аквакультуре без ущерба для несущей способности Земли и биоразнообразия. Биоэкономика использует новые ресурсы, опираясь на возобновляемую биомассу. Благодаря этому, внедрению инновационных и ресурсоэффективных производственных технологий и переходу к устойчивому обществу она помогает заменить или сократить использование ограниченных ископаемых ресурсов, тем самым способствуя смягчению последствий изменения климата.

Цели обучения

После изучения этого раздела вы...

- ...сможете описать основные вызовы XXI века (см.
 - ▶ разделы 1.1, 1.3 и 1.4)
- ...сможете описать взаимосвязь между причинами этих вызовов (см. ▶ раздел 1.3)
- ...сможете объяснить, как биоэкономика может способствовать решению этих проблем (см. ▶ раздел 1.5)

За год Земля проходит 940 миллионов километров вокруг Солнца, от которого получает 1366 Вт/м^2 солнечной радиации (2 500 000 ЭДж в год). Из этого 0,25 % преобразуется в пригодную для использования биомассу в процессе фотосинтеза. Растительность Земли связывает около 175 петаграмм (175 000 000 000 000 килограмм) углерода в год, что эквивалентно примерно 300 000 миллиардов тонн биомассы (Weir et al. 2011). Углерод является важнейшим элементом нашей экономики, которую можно назвать углеродной экономикой, учитывая, что углерод является основным строительным блоком большинства химических соединений, которые мы производим и потребляем. До того, как человечество открыло

ископаемую нефть, уголь, газ и уран и научилось их использовать, биомасса полностью удовлетворяла все человеческие потребности в пище, энергии и материалах

1.1 Ископаемые ресурсы и изменение климата

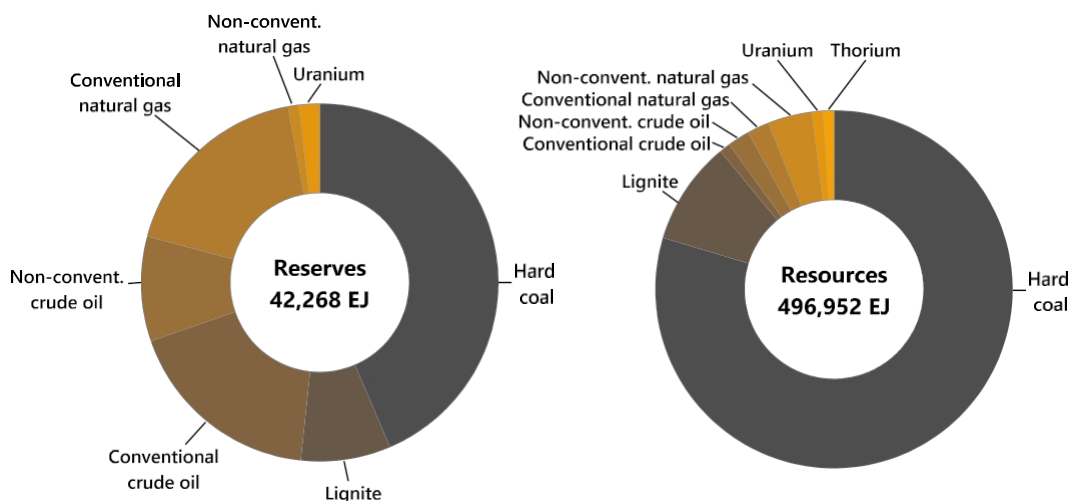
Использование ископаемых ресурсов стало движущей силой индустриализации, которая была обусловлена техническими и экономическими процессами, приведшими к переходу от преимущественно аграрного к промышленному производству. Однако запасы ископаемых ресурсов ограничены, а их интенсивное использование привело к негативным последствиям для окружающей среды. Сегодня, по оценкам, в мире имеется 42 268 ЭДж запасов ископаемой энергии и 496 952 ЭДж ресурсов ископаемой энергии (см.

О рис. 1.1, BGR 2023). *Запасы* — это объемы энергоресурсов, которые были определены с высокой точностью и поддаются экономически целесообразной добыче, тогда как *ресурсы* — это объемы энергетического сырья, наличие которых подтверждено геологическими данными, но которые либо экономически, либо геологически недоступны для добычи. В настоящее время запасы ископаемой энергии в 68 раз превышают мировое потребление первичной энергии, составляющее 620 ЭДж. Однако сырая нефть, которая также необходима для производства материалов, составляет лишь 25 % запасов ископаемой энергии (BGR 2023) и, следовательно, как ожидается, будет первым ископаемым ресурсом, который иссякнет.

К *ископаемым ресурсам* относятся уголь, нефть, природный газ, нефтеносные сланцы, битум, нефтеносные пески и тяжелые нефти. Все они содержат углерод и образовались в результате геологических процессов, воздействовавших на остатки органического вещества, произведенного в процессе фотосинтеза (см.

▶ раздел 5.2). Эти процессы начались в архейскую эру более 3 миллиардов лет назад. Большая часть углеродистого материала, образовавшегося до девонского периода (примерно 415 миллионов лет назад), происходила из водорослей и бактерий (Корр 2024).

Ископаемые ресурсы образовались из биомассы в результате геологических процессов, которые



○ Рис. 1.1 Запасы и ресурсы ископаемых видов топлива (BGR 2023)

○ Табл. 1.1 Содержание углерода в ископаемых ресурсах и количество углекислого газа (CO₂) и других парниковых газов (ПГ) при энергетическом использовании ископаемого топлива

Ископаемый ресурс	% углерода (C) ^a	Выбросы парниковых газов [т/т] ^b		
		CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Каменный уголь	71,6	2,6	0,000027	0,000040
Бурый уголь	32,8	1,2	0,000012	0,000018
Нефть	84,8	3,1	0,000127	0,000025
Природный газ	73,4	2,7	0,000048	0,000005

^a МГЭИК (2006)

^b Собственные расчеты на основе данных МГЭИК (2006)

произошло несколько миллионов–миллиардов лет назад. По этой причине они имеют высокое содержание углерода (см. таблицу 1.1). С каждой тонной ископаемого нефти или угля, сжигаемой и преобразуемой в энергию, окисляется около 0,8 тонн углерода и в атмосферу выбрасывается 3 тонны углекислого газа (CO₂) (см. таблицу 1.1).

Концентрации в атмосфере основных парниковых газов (ПГ) — диоксида углерода (CO₂), метана (CH₄) и закиси азота (N₂O) — с 1750 года выросла на 47%, 156% и 23% соответственно (МГЭИК 2023). Эти увеличения в основном обусловлены сжиганием ископаемого топлива, вырубкой лесов и выбросами парниковых газов из почвы. В 2019 году глобальные чистые антропогенные выбросы ПГ

оценивались примерно в 59 ± 6,6 Гт эквивалента CO₂, причем 34 % (20 Гт эквивалента CO₂) чистых глобальных выбросов ПГ приходилось на энергетический сектор, 24 % (14 Гт эквивалента CO₂) — на промышленность, 22 % (13 Гт эквивалента CO₂-эквивалентов) — на долю AFOLU (сельское хозяйство, лесное хозяйство, изменение землепользования), 15 % (8,7 Гт CO₂-эквивалентов) — на долю транспорта и 6 % (3,3 Гт CO₂-эквивалентов) — на долю зданий (МГЭИК, 2023). Сегодня производство электроэнергии и тепла, промышленность и деятельность, связанная с землепользованием, являются секторами, которые вносят наибольший вклад в так называемый «потенциал глобального потепления» (ПГП), выражаемый в эквивалентах CO₂ (см. рис. 1.2). Эквиваленты_{CO₂} включают в себя взвешенное воздействие (GWP_{100 лет} = 1), CH₄

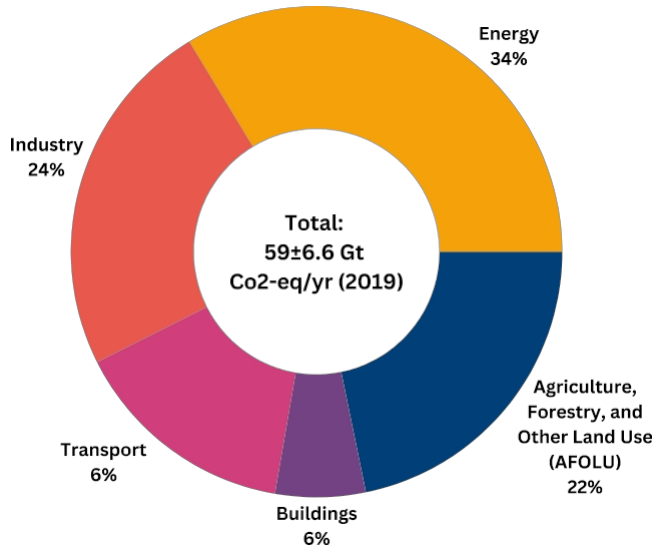


Рис. 1.2. Общий объем антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ) (в гигатоннах эквивалента CO_2 в год, Гт эквивалента CO_2 /год) по секторам экономики в 2019 году. (Данные МГЭИК, 2023)

($\text{ПГП}_{100 \text{ лет}} = 28$) и N_2O ($\text{ПГП}_{100 \text{ лет}} = 265$) на глобальной температуре. Чем выше $\text{GWP}_{100 \text{ лет}}$, тем больше молекула ПГ способствует глобальному потеплению и изменению климата в течение 100 лет.

Парниковые газы (ПГ) в атмосфере приводят к так называемому *парниковому эффекту*. Поверхность Земли поглощает часть энергии солнечного света и нагревается. Она снова остывает, выделяя эту энергию в другой форме, называемой инфракрасным излучением. Это инфракрасное излучение уходит обратно в космос, но по пути его часть поглощается ПГ в атмосфере, что приводит к чистому потеплению поверхности Земли и нижних слоев атмосферы

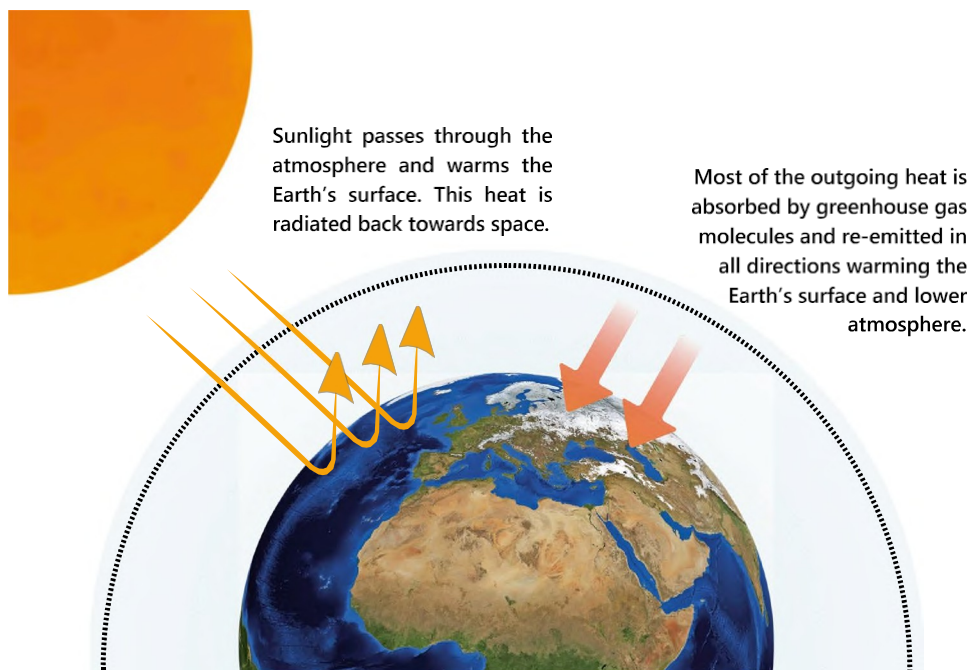
(см. рис. 1.3).

Прямые и косвенные последствия концентрации парниковых газов в атмосфере и сопутствующего повышения глобальных температур многообразны и включают (МГЭИК, 2014):

- Потепление и закисление океана (за счет поглощения CO_2)
- Таяние ледяных покровов Гренландии и Арктики
- Повышение уровня моря (1,5–1,9 мм/год), угрожающее **прибрежным сообществам** и экосистемам
- Отступление ледников
- Уменьшение снежного покрова и повышение температуры вечной мерзлоты

- Сокращение количества осадков и учащение засух, особенно в районах, уже критически страдающих от нехватки воды
- Экстремальные и непредсказуемые погодные явления, такие как штормы и наводнения
- Предполагаемое негативное воздействие низких температур, засух и других факторов (например, болезней) на сельское хозяйство, что может привести к снижению урожайности
- Негативное воздействие на здоровье человека вследствие ухудшения качества воздуха и воды, усиления распространения определенных болезней и изменения частоты или интенсивности экстремальных погодных явлений.

МГЭИК (Межправительственная группа экспертов по изменению климата) сформулировала «климатическую цель» в 2°C — это предельное повышение глобальной температуры, которое не должно быть превышено, чтобы избежать катастрофических глобальных последствий. Для того чтобы обеспечить, чтобы потепление, вызванное выбросами CO_2 , оставалось ниже 2°C , необходимо, чтобы совокупные выбросы CO_2 из всех антропогенных источников оставались ниже примерно 3650 Гт CO_2 (1000 Гт углерода); более половины этого объема уже было выброшено к 2011 году (МГЭИК, 2014). Одним из наиболее перспективных вариантов сокращения выбросов ПГ является использование биоресурсов вместо ископаемых.



○ Рис. 1.3 Как парниковые газы приводят к глобальному потеплению. (По данным Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства, 2024 г.)

1.2 Биоресурсы

Все ресурсы, производимые и используемые в биоэкономике, содержат углерод (C). Поэтому они подходят для замены углеродных ископаемых ресурсов, то есть угля, нефти и природного газа. В следующих главах биоресурсы определяются как все возобновляемые ресурсы, содержащие неископаемый органический углерод, полученный в недавнем прошлом (<100 лет) из живых растений, животных, водорослей, микроорганизмов или потоков органических отходов (см.

▶ гл. 5 для более подробного описания биоресурсов).

Биоресурсы имеют биологическое происхождение и получаются из биомассы. Эта биомасса может быть необработанной или подвергнутой физической, химической или биологической обработке.

Биомасса происходит от живых или когда-то живших организмов, включая растения, деревья, водоросли, морские организмы, микроорганизмы и животных. Не включаются материалы, заключенные в геологические формации и/или окаменевшие.

Как биоресурсы, так и ископаемые ресурсы получают из биомассы, образованной в процессе фотосинтеза (см.

▶ раздел 5.2). В ходе этого процесса CO_2 поглощается растениями или водорослями с помощью световой

энергии. Растения и водоросли преобразуют свет в химическую энергию, интегрируя углерод (C) в свои организмы. Таким образом, углерод, связанный в ископаемом топливе, был поглощен из атмосферного CO_2 несколько миллионов или миллиардов лет назад. Напротив, биоресурсы состоят из недавно выращенной биомассы, где промежуток времени между извлечением CO_2 из атмосферы и его обратным выбросом в атмосферу составляет от 1 до <100 лет. Поэтому биомасса часто

считается « CO_2 -нейтральной» и «возобновляемой» поскольку такое же количество CO_2 связывается, а затем вновь выделяется в течение короткого периода времени.

Благодаря ежегодному приросту в 300 000 миллиардов тонн биомассы, биоресурсы представляют собой чрезвычайно обширный и, поскольку они возобновляются, теоретически неисчерпаемый ресурс. Однако для их производства требуется использование природных ресурсов, в первую очередь земельных участков, почвы, воды и питательных веществ для растений.

Вставка 1.1: Экономика возобновляемого углерода

Принцип возобновляемого углерода основан на том обстоятельстве, что изменение климата — это не столько «проблема CO₂», сколько проблема поступления в атмосферу избыточного количества ископаемого углерода. Этот ископаемый углерод, извлекаемый из сырой нефти, природного газа и угля, нарушает углеродный баланс, добавляя в атмосферу «новый» углерод (в виде CO₂), который в противном случае остался бы под землей. Если бы этот приток ископаемого углерода был остановлен, уровни CO₂ в атмосфере стабилизировались бы, поскольку CO₂ может циркулировать естественным образом между атмосферой, биосферой и техносферой (von Berg и др., 2023).

Биомасса и биоэкономика являются важной частью экономики возобновляемого углерода наряду с технологиями переработки отходов и улавливания углерода.

Природные ресурсы встречаются на Земле в естественном виде. К ним относятся (а) биотические ресурсы, происходящие от живых организмов (в основном растений и животных) и органического материала (в том числе окаменелого), и (б) абиотические ресурсы из неживого и неорганического материала, такие как воздух, почва, вода, солнечный свет и минералы.

1.3 Планетарные границы и ограниченность природных ресурсов: текущее положение

Планетарные границы определяют пределы, в рамках которых человечество может безопасно функционировать, не дестабилизируя системы Земли. Экономика, основанная на возобновляемом углероде (например, биомассе), открывает путь к решению социально-экономических

Экскурс 1.2: Девять планетарных границ

1. *Истощение озона в стратосфере*: озоновый слой в стратосфере защищает все живые существа от опасного ультрафиолетового излучения. Истощение озонового слоя в верхних слоях атмосферы, в первую очередь из-за химических веществ, созданных человеком (например, хлорфторуглеродов (ХФУ)), позволяет большему количеству вредного УФ-излучения достигать поверхности Земли.
2. *Потеря целостности биосферы* (утрата биоразнообразия и исчезновение видов): биоразнообразие и целостность экосистем стабилизируют всю систему Земли. Вмешательство человека в природу угрожает этой экологической стабильности (например, посредством разрушения экосистем и исчезновения видов).
3. *Выброс новых веществ* (ранее называвшийся химическим загрязнением): попадание в окружающую среду новых веществ, которых раньше не было. Примерами являются такие химические вещества, как стойкие органические загрязнители (СОЗ) и стойкие, биоаккумулирующиеся и токсичные химические вещества (СТБТ), а также микропластик и красители.
4. *Изменение климата*: изменение соотношения поступающей и уходящей энергии Земли, вызванное увеличением количества парниковых газов (таких как CO₂) и аэрозолей. Обычно Земля поглощает излучение и отправляет его часть обратно в космос. Парниковые газы и аэрозоли действуют как одеяло, удерживая тепло. По мере накопления этих газов все больше излучения удерживается, что приводит к повышению глобальных температур и изменению климатических моделей.
5. *Закисление океана*: Закисление океана — это явление повышения кислотности (снижения pH) в океанской воде. Причиной этого является увеличение количества CO₂ в атмосфере, которое поглощается водой и превращается в угольную кислоту. Этот процесс наносит вред кальцифицирующим организмам, влияя на морские экосистемы, и снижает эффективность океана как поглотителя углерода.
6. *Потребление пресной воды и глобальный гидрологический цикл*: Доступность пресной воды для людей, растений и других живых организмов. Изменение циклов пресной воды, включая реки и влажность почвы, влияет на такие природные функции, как поглощение углерода и биоразнообразие, и может привести к изменениям в уровне осадков.

7. Изменение земельных систем: трансформация эволюции. Эти циклы нарушаются в результате антропогенной деятельности (например, промышленной фиксации и использования азота в качестве удобрений).
для дикой природы, рециркуляцию влаги и поглощение углерода. из-за деятельности человека или из природных источников
8. Изменение биогеохимических потоков: от человеческой деятельности или природных источников Азот и фосфор, которые имеют решающее значение влияет на климат, изменяя температурные и осадковые режимы и оказывает негативное воздействие на здоровье человека. (Stockholm Resilience Center 2023)

вызовов, таких как изменение климата и дефицит ресурсов, при этом не выходя за пределы этих границ.

» «Концепция планетарных границ представляет собой набор из девяти планетарных границ, в пределах которых человечество может продолжать развиваться и процветать на протяжении многих поколений» (Stockholm Resilience Center 2023).

Изменение климата является одной из девяти планетарных границ (см. рис. 1.4), которые ООН определила как разграничивающие несущую емкости Земли и уязвимости глобальных природных ресурсов (Steffen et al. 2015). Согласно этим данным, процессы изменения климата и земельных систем, а также целостность биосферы (в частности, генетическое разнообразие) и биогеохимические потоки (в частности, потоки азота и фосфора в биосферу и океаны в результате различных промышленных и сельскохозяйственных процессов) уже в 2015 году вышли за пределы безопасного операционного пространства. С тех пор также потребление пресной воды и глобальный гидрологический цикл, а также выброс новых веществ превысили границу и вошли в красную зону (см. рис. 1.4).

Целостность биоразнообразия описывает «способность поддерживать и сохранять сбалансированное, интегрированное, адаптивное сообщество организмов, имеющее видовой состав, разнообразие и функциональную организацию, сопоставимые с таковыми в естественной среде обитания данного региона» (Karr and Dudley 1981, p 56). Таким образом, она включает в себя как функциональный, так и количественный (число

видов и особей) (Angermeier and Karr 1994).

Сельское хозяйство, являющееся основным источником продовольствия и кормов и важным сектором биоэкономики, несет ответственность за значительную утрату биоразнообразия. Помимо обезлесения и других изменений в землепользовании, превращающих территории с высокой ценностью с точки зрения биоразнообразия в сельскохозяйственные угодья, ключевыми факторами сокращения биоразнообразия, а также ухудшения состояния природоохранных и экосистемных услуг являются: расширение использования пестицидов, гербицидов и удобрений; усиление однородности ландшафта, связанное со специализацией на региональном уровне и на уровне фермерских хозяйств; осушение заболоченных полей; утрата маргинальных и не возделываемых участков среды обитания; а также сокращение периодов парования (Hilger et al. 2015; Lambin et al. 2001). Нынешние высокие темпы ущерба экосистемам и исчезновения видов можно замедлить за счет усилий по защите целостности живых систем (биосферы), улучшению среды обитания и укреплению связей между экосистемами при одновременном поддержании высокой сельскохозяйственной производительности, необходимой человечеству (Steffen et al. 2015).

Под угрозой находятся и другие природные ресурсы, необходимые для сельскохозяйственного производства. В то время как производство сельскохозяйственной продукции увеличилось в 2,5–3 раза с 1961 года, площадь сельскохозяйственных угодий увеличилась лишь на 12 % (ФАО, 2011). Поскольку более 40 % прироста производства продовольствия приходится на орошаемые площади, потребление воды также возросло. Сегодня 70 % всего объема забираемой воды

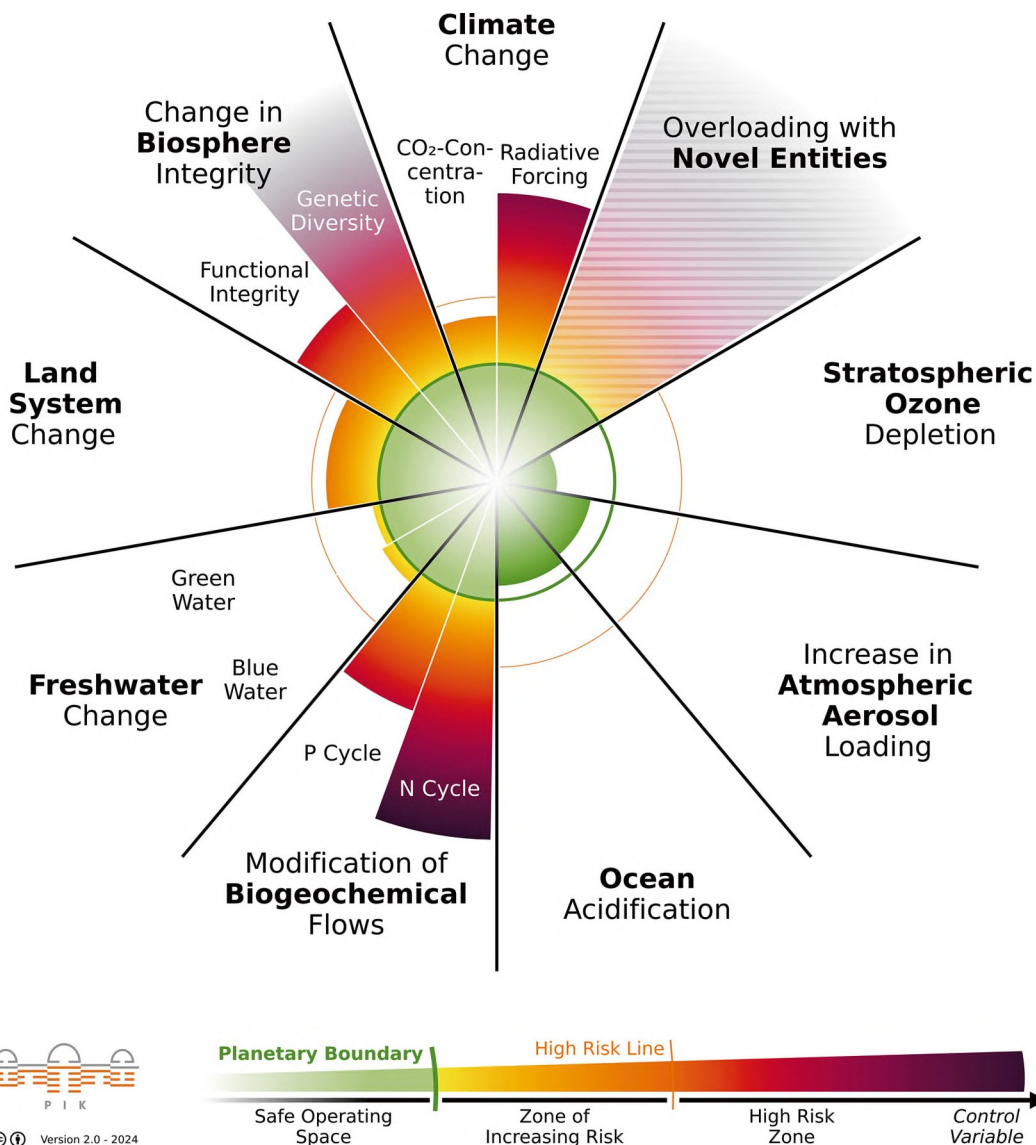


Рис. 1.4 Девять планетарных границ, обновление на 2024 год. Область, заштрихованная зеленым цветом, представляет собой безопасное рабочее пространство. (Из Потсдамского института исследований воздействия климата (ПИК), лицензировано по CC BY 4.0)

из водоносных горизонтов, ручьев и озер используется для сельскохозяйственного производства, что приводит к дефициту воды во многих районах Азии, северной и южной Африки, а также западной части Северной Америки (ФАО, 2011). Интенсивное использование сельскохозяйственных угодий и вырубка лесов также привели к процессам деградации почв, таким как эрозия. Сильно деградированные почвы встречаются, в частности, в полупустынных районах (Африка к югу от Сахары, Чили), районах с высокой плотностью населения (Китай, Мексика и Индия) и регионах, подвергающихся вырубке лесов

(Индонезия) (ЮНЕП, 1997). Наконец, ожидается, что фосфор (P) — питательное вещество для растений — также станет ограниченным природным ресурсом для растениеводства. Фосфорные удобрения, используемые в сельском хозяйстве, в основном производятся из фосфоритов (RP). Однако фосфориты — это исчерпаемый ресурс, как и все добываемые ресурсы. По этой причине в 2014 году ЕК включила их в список критически важных сырьевых материалов (ЕС 2014).

В обновленной версии концепции «планетарных границ» 2023 года превышение границ в шести плоскостях

Сообщалось о превышении границ планеты — биогеохимических потоков, изменениях в пресной воде, изменениях в земельных системах, целостности биосферы, изменении климата и появлении новых существей, что указывает на то, что в настоящее время мы находимся за пределами «безопасной зоны функционирования» (Richardson et al. 2023). Состояние планетарных границ указывает на острую необходимость принятия мер на всех уровнях, а для биоэкономики они подразумевают «безопасные» пределы ее внедрения, не создающие дополнительного давления на те границы, которое приводит к увеличению рисков, а, напротив, способствующие смягчению нарушений.

Поскольку биоэкономика напрямую использует природные ресурсы (особенно почву, землю, воду и питательные вещества) и, следовательно, зависит от их доступности, она находится в центре дискуссии об устойчивости. Только биоэкономика, ответственно использующая природные ресурсы, включая их эффективное использование, сохранение, восстановление, регенерацию и переработку, может способствовать переходу к более устойчивой экономике. Для этого биоэкономике придется продвигать инновации в направлении устойчивой интенсификации сельского хозяйства. Последнюю определяют как «получение большего объема продукции с той же площади земель при одновременном снижении негативного воздействия на окружающую среду и увеличении вклада в природный капитал и поток экологических услуг» (Pretty et al. 2011). Устойчивая интенсификация сельского хозяйства требует использования инновационных методов для производства современных сортов, удобрений и средств защиты растений

(см. ▶ раздел 6.11). Эта цель соответствует современным тенденциям, которые показывают, что около

70 % общей факторной производительности в сельском хозяйстве обеспечивается за счет инноваций и лишь около 12 % — за счет расширения площадей. Кроме того, другие секторы, производящие биомассу, такие как лесное хозяйство и аквакультура, должны применять принципы устойчивого

методы производства (см. ▶ гл. 8 и 9).

Устойчивая биоэкономика еще не достигнута тогда, когда ископаемые ресурсы заменены биоресурсами в максимально возможной степени. Она также требует, чтобы замена ископаемого топлива биоресурсами приводила к формированию в целом более устойчивой экономики. Для обеспечения этого в биоэкономике применяются такие принципы, как системное и жизненно-цикловое

(см. ▶ гл. 3). Разрабатываются инструменты оценки устойчивости, такие как

оценка жизненного цикла (LCA), (см.

▶ гл. 41). На уровне процессов варианты управления, такие как передовые практики или сертификация

, способствуют внедрению устойчивых биооснованных цепочек создания стоимости (см. ▶ гл. 31 и 35).

1.4 Рост населения и продовольственная безопасность

По прогнозам, население мира увеличится с нынешних 7 миллиардов человек до 9,7 млрд человек в 2050 году (ФАО, 2021). Сегодня (2020 г.) почти 768 млн человек страдают от недоедания, особенно в странах Африки к югу от Сахары и в Азии (ФАО, 2021). Помимо потребностей растущего населения, экономическое развитие, особенно в странах с формирующейся рыночной экономикой, ведет к росту потребления мяса. Это означает, что тенденция к увеличению потребления мяса в странах с формирующейся рыночной экономикой Африки и Азии и сопутствующий рост мирового производства мяса будут продолжаться (см.

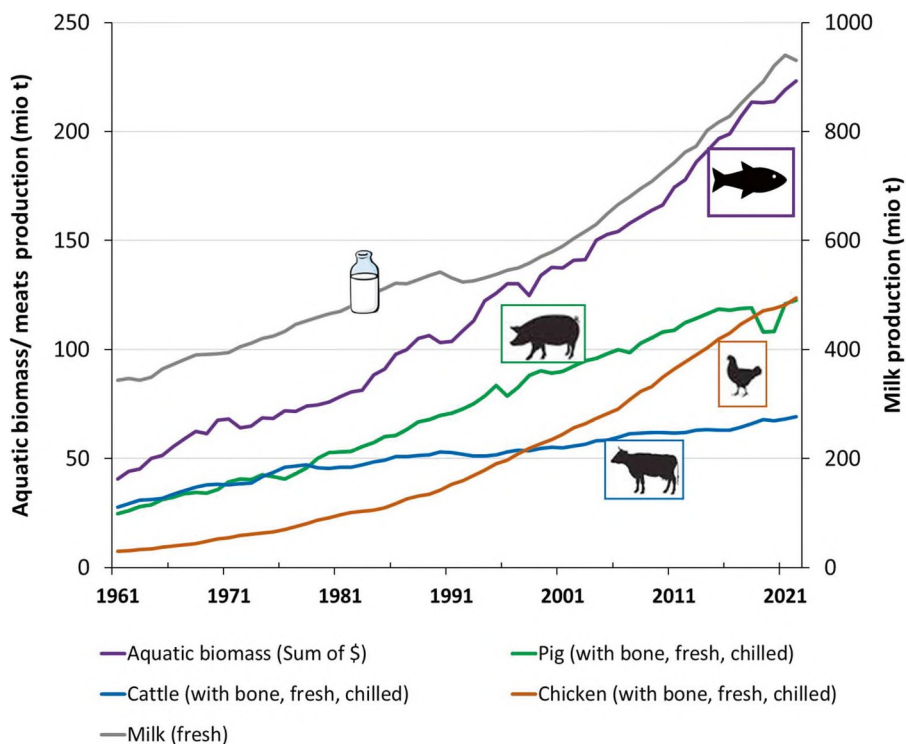
рис. 1.5). По оценкам, к 2050 году ежегодно потребуется производить дополнительно 1 млрд тонн зерновых и 200 млн

тонн продукции животноводства (Bruinsma 2009).

Однако для производства мяса требуется больше земли, чем для выращивания сельскохозяйственных культур. Для производства одного килограмма (кг) мяса требуется от 3 до 100 кг биомассы, в зависимости от того, какие животные и системы производства используются (Smeets et al. 2007). По оценкам ФАО, к 2030 году сельскохозяйственное производство должно будет производить почти на 50 процентов больше продовольствия, кормов для скота и биотоплива, чем в 2012 году, чтобы удовлетворить глобальный спрос и достичь «нулевого голода» к 2030 году (ФАО, 2021). Переход на растительную пищу (▶ гл. 21) мог бы снять эту нагрузку. Согласно отчету ЮНЕП,

для производства продуктов на растительной основе потребуется на 97 процентов меньше земли и на 30–50 процентов меньше энергии по сравнению с традиционным производством говядины, свинины или курицы. Кроме того, выбросы парниковых газов сократятся на 90 процентов (ЮНЕП 2023).

В производстве продуктов питания количество — не единственный критерий; важно и качество. Одним из первых шагов по управлению качеством в биоцепочке создания стоимости является защита здоровья растений и животных. Это направлено на



○ Рис. 1.5 Мировое производство водной биомассы⁽⁵⁾ от промышленного рыболовства и аквакультуры, свежего мяса и молока в 1961–2022 гг. на основе данных ФАО (2024a, b); ⁽⁵⁾ относится к: водным растениям, морским водорослям и альгам; аквакультуре (пресноводной, морская и в солоноватых водах); промышленное рыболовство (во внутренних и морских водах)

не только на поставке продуктов питания хорошего качества, но и на повышении производительности и сокращении потерь при производстве, хранении, транспортировке и переработке биомассы. Даже без учета пищевых отходов на потребительском уровне потери продовольствия по всей цепочке поставок оцениваются в 35 % для зерновых и более 50 % для скоропортящихся продуктов, таких как корнеплоды, клубнеплоды, фрукты и овощи (Aulakh and Regmi 2013). Для предотвращения таких потерь требуются устойчивые к болезням сорта, эффективные меры защиты растений и более качественная подготовка фермеров к применению этих технологий, инфраструктура для хранения и транспортировки, а также эффективные методы переработки и преобразования (см. ► гл. 6).

Переход к биоэкономике, основанной на знаниях,

экономику также зависит от осведомленности потребителей о природе и характеристиках биопродуктов (см. ► гл. 36).

В противном случае они не смогут ни распознать продукты, произведенные более экологичным способом, ни будут готовы платить более высокую цену за

продукты с более высокой добавленной стоимостью. Процесс повышения осведомленности приведет также к более осознанному выбору более качественных и здоровых продуктов с меньшим воздействием на окружающую среду, а также может привести к сокращению потребления мяса.

Таким образом, обеспечение растущего населения достаточным количеством высококачественных продуктов питания — это не только вопрос достаточного производства, но и вопрос рационального использования и моделей потребления продуктов питания. Наконец, продовольственную безопасность определяет также вопрос справедливого распределения продуктов питания и адекватного доступа всех людей к ним. Кроме того, современный голод вызван не недостаточным мировым производством продовольствия, а проблемами распределения, обусловленными политическими факторами.

© Хотите узнать больше о биоэкономике и продовольственной безопасности? Посмотрите Дополнительное видео 1.1, видео из нашего МООС «Концепции устойчивого «Биоэкономика» (2021).

1.5 Роль биоэкономики в условиях глобальных вызовов, сложных проблем и трансформации в направлении устойчивого развития

Цель данного учебника — продемонстрировать возможности, которые биоэкономика предлагает для решения глобальных вызовов посредством комплексных инноваций на технологическом, институциональном и социальном уровнях, способных привести к трансформации общества. Биоэкономика означает:

- **Обеспечение возобновляемыми ресурсами — продуктами питания, кормами, волокном, топливом, развлечениями:** поскольку невозобновляемые ископаемые ресурсы ограничены и создают значительные экологические внешние эффекты (например, влияние на изменение климата), нам необходимо удовлетворять наши потребности в продуктах питания, товарах и материалах, а также в энергии за счет возобновляемых ресурсов. Продукты питания и возобновляемые материалы в основном поставляются за счет биомассы, получаемой из сельскохозяйственного производства, лесного хозяйства и аквакультуры (► гл. 6, 8 и 9). Однако возобновляемая энергия, в которую биоэнергия (► гл. 24) в настоящее время вносит 73 % (при этом биомасса обеспечивает примерно 14 % мирового конечного энергопотребления (REN21, 2016), также может быть получена за счет солнечной, ветровой, геотермальной, гидро- или приливной энергии.
- **Устойчивое землепользование:** учитывая, что землепользование в настоящее время является источником 22 % антропогенных выбросов парниковых газов антропогенного происхождения и в значительной степени к утрате биоразнообразия, необходимо устойчивым образом улучшить управление землепользованием в сельском хозяйстве и лесном хозяйстве. Биоэкономика предлагает решения, основанные на природе (см. ► раздел 5.5), например, климатически оптимизированные методы производства, использующие поглощению углерода почвой и инновационные сельскохозяйственные технологии, которые сокращают выбросы и снижают воздействие на окружающую среду (см. ► раздел 6.11). Это приводит к смягчению последствий выбросов ПГ и часто связано с повышением эффективности, снижением затрат и сопутствующими экологическими выгодами (Smith et al. 2007).
- **Циркулярность и устойчивость:** биоэкономика может решать глобальные проблемы

только в том случае, если она будет циркулярной и устойчивой. Это

означает, что циклы питательных веществ и материалов являются замкнутыми, а все биоресурсы распределяются с учетом достижения максимальной экологической, социальной и экономической выгоды (см. ► гл. 3). Такой целостный подход к распределению ресурсов представляет собой один из основных столпов основу циркулярной устойчивой биоэкономики и может служить моделью для стратегий распределения ресурсов в целом.

- **Подход, основанный на жизненном цикле и цепочке создания стоимости:** биоэкономика выходит далеко за рамки идею построения биоэкономики. Она также опирается на принципы устойчивого развития за счет применения знаний в области биологии и системных наук, а также создания инноваций для развития устойчивой экономики. Это не отраслевой подход, в котором учитываются только те виды экономической деятельности, которые используют биоресурсы. Подход, основанный на концепции жизненного цикла (см. ► гл. 3 и 41) и подход, основанный на цепочке создания стоимости (► гл. 4), эффективность использования ресурсов и концепции переработки применимы ко всем видам производственной деятельности. Таким образом, биоэкономика представляет собой комплексный и перспективный подход, который может служить основой для развития экономической системы в целом в направлении устойчивости.

- **Исследования, разработки и инновации:**

Глобальный спрос на большее количество и более качественных продуктов питания и ограниченность земельных и природных ресурсов требуют уделения особого внимания инновациям (см. ► гл. 32) в сельском хозяйстве, лесоводстве, аквакультуре и других формах производства биомассы, а также в переработке и использовании биомассы. Это должно привести к появлению более эффективных и менее ресурсоемких методов производства в рамках основанных на биомассе цепочках создания стоимости (см. ► гл. 4). Благодаря подходу, основанному на знаниях, необходимо применять более эффективные и устойчивые методы производства для рационального управления природными ресурсами и повышения производительности. В дополнение к технологическим

достижениям ключевую роль в содействии процессам трансформации и обеспечении системных изменений играют новые формы организации общественных субъектов, бизнес-модели и институциональные инновации.

- **Ориентация на заинтересованные стороны:** ограниченные и частично уже перегруженные планетарные

ограничения делают переход к более устойчивому

1

необходимость биоэкономики, которая

способствует

лучшее и ответственное использование ресурсов Земли. Переход к устойчивой экономике требует наличия производителей и потребителей, ориентированных на устойчивость, которые направляют экономическую деятельность посредством своих предприятий, возможностей, целенаправленных предпочтений и выбора. Биоэкономика стала руководящей концепцией для обширных областей экономического развития и крайне необходимого общественного перехода к достижению этой цели.

- **Нормативное направление:** Общественный переход в биоэкономике основан на повышении осведомленности

не только о глобальных вызовах, с которыми мы сталкиваемся, но и о способах их преодоления. Например, принцип «продовольствие прежде всего» предусматривает, что глобальная продовольственная безопасность имеет приоритет над всеми другими направлениями использования биоресурсов. Это должно обеспечить удовлетворение спроса на высококачественные продукты питания для всех людей (Priefer et al. 2017). В последние годы такие нормативные аспекты биоэкономики приобрели важное значение, вовлекая различных заинтересованных сторон и повышая их осведомленность не только об их ответственности, но и об этических условиях успеха трансформации в направлении устойчивого развития. Наряду с этим заинтересованные стороны также информируются о необходимости подходов, основанных на принципе достаточности (см.

► раздел 3.1) для сокращения потребления ресурсов, а также инновационных и потенциально потенциально более эффективных с точки зрения использования ресурсов путей удовлетворения спроса.

- **Развитие сельских районов:** повсеместное наличие биомассы открывает возможность создания

современных рабочих мест в сельских районах, что позволит противодействовать как ограниченному географическому распределению доступных ископаемых ресурсов, так и нынешней концентрации возможностей трудоустройства и получения дохода в городских районах. Биоэкономика направлена на то, чтобы дать возможность районам, богатым биоресурсами, улучшить доходы и возможности развития. Развитие инновационных технологий также приведет к появлению новых рабочих мест с современным

характеристиками (например, в сфере цифровизации, см. ► гл. 15 и 25).

- **Решение сложных проблем:**

Одновременное решение нескольких или даже всех глобальных

— сложная задача

программах, способных обучать и готовить этих экспертов

из-за множества компромиссов и взаимозависимостей между ними. Это можно увидеть на примере одновременной необходимости производственной деятельности для обеспечения продовольствием и потребительскими товарами и смягчения последствий изменения климата. Благодаря использованию природоориентированных решений и применению принципов циркулярности

и многофункциональности (см. ► гл. 3), биоэкономика предлагает операционные подходы для оптимального управления этими компромиссами. Конкретными примерами являются интегрированный подход к производству экосистемных услуг (см. ► разд. 6.11 и ► гл. 40) — включая производство биомассы, а также такие экологические функции, как поглощение углерода, — а также биоперерабатывающие заводы (см.

► гл. 17), в полной мере использующие потенциал ресурсов биомассы для обеспечения

продовольствия, кормов, материалов и энергии.

Обоснованное принятие решений: в биоэкономике обеспечение ресурсами должно быть устойчивым

, и поэтому использование биоресурсов должно осуществляться только в тех случаях, когда они являются более устойчивыми, чем ископаемые альтернативы. Для устойчивой биоэкономики были разработаны инструменты оценки и управления устойчивостью, такие как оценка жизненного

(см. ► гл. 41), и в настоящее время их применение

выходит за пределы биооснованных цепочек создания стоимости.

Трансформационные навыки и знания: трансформация в направлении устойчивости требует политической поддержки (см. ► гл. 2, 28 и 29), вовлечения заинтересованных сторон (см. Часть V) и

информации, которую можно получить с помощью моделирования (см. ► гл. 42) и мониторинга биоэкономики (см. ► гл. 43).

реализация трансформации требует наличия экспертов, обладающих системным пониманием и способностью решать сложные, так называемые «неразрешимые» проблемы. «Неразрешимые» проблемы отличаются от «простых» тем, что их нельзя решить с помощью линейной логики традиционной рациональности или понять только на основе количественной

объективной информации (см. ► разд. 38.1).

Наряду с глобальным ростом биоэкономики неуклонно растет потребность в экспертах, а также в образовательных

растет. Такие программы должны давать экспертам возможность предпринимать совместные действия в различных секторах общества с целью обеспечения значимых, трансформационных изменений в организациях и системах, а также приобретения необходимых междисциплинарных и трансдисциплинарных знаний (см.

► гл. 37) и освоить навыки сотрудничества и трансформации, необходимые для поддержке перехода к устойчивому развитию (см. ► гл. 38).

Биоэкономика может способствовать решению глобальных вызовов благодаря своей природе как экономики, основанной на возобновляемых ресурсах, биологических знаниях, инновациях и генерировании знаний, а также благодаря целостным подходам, которые рассматривают процессы в рамках цепочек и сетей создания стоимости. Это означает, что биоэкономика не просто следует традиционным путям производства, преобразования и использования биомассы. Она прокладывает путь к инновационному и устойчивому использованию ограниченных ресурсов Земли и предоставляет ориентиры для общественного перехода к устойчивому развитию.

© Хотите узнать больше о важности биоэкономики? Посмотрите дополнительные видео 1.2 и 1.3 из нашего МООС «Концепции устойчивой биоэкономики» (2021), в которых более подробно объясняется контекст биоэкономики.

? Вопросы

1. Каковы последствия, преимущества и недостатки использования ископаемых ресурсов?
2. Как использование биоресурсов может преодолеть недостатки ископаемых ресурсов?
3. Как производство ресурсов на биологической основе может помочь удержать несущую способность Земли в пределах планетарных границ или, если они уже превышены, вернуться в эти пределы?
4. Каков потенциальный вклад биоэкономики в решение основных глобальных проблем?
5. Каковы условия для устойчивой биоэкономики?

7 Ответы

1. Ископаемые виды топлива, такие как уголь, нефть и природный газ, стали движущей силой индустриализации и современных экономик благодаря своей высокой энергетической плотности и надежности. Они широко доступны и поддерживаются развитой инфраструктурой, что делает их экономически выгодными. Однако их использование имеет серьезные экологические и социальные последствия. Сжигание ископаемого топлива является крупнейшим источником выбросов парниковых газов, что ведет к изменению климата и глобальному потеплению. Процессы добычи наносят ущерб экосистемам, а загрязнение воздуха и воды вредит здоровью человека. Запасы ископаемого топлива ограничены, что вызывает опасения по поводу долгосрочной энергетической безопасности. Его геополитическая значимость также подпитывает конфликты за контроль над ресурсами. Хотя ископаемое топливо способствовало технологическому прогрессу, его недостатки — ухудшение состояния окружающей среды, ограниченность запасов и вклад в глобальное потепление — подчеркивают необходимость перехода к возобновляемым источникам энергии. Устойчивые альтернативы позволяют сбалансировать энергетические потребности с защитой окружающей среды и долгосрочной экономической стабильностью.
2. Использование биоресурсов может устранить многие недостатки ископаемых ресурсов. Полученные из возобновляемых материалов, таких как растения, водоросли и отходы, биоресурсы снижают зависимость от ограниченных запасов ископаемого топлива. Их возобновляемый характер обеспечивает стабильное снабжение, повышая долгосрочную безопасность поставок ресурсов. Когда биоресурсы заменяют ископаемые ресурсы, они сокращают выбросы парниковых газов, помогая бороться с изменением климата, и могут быть биоразлагаемыми, что снижает загрязнение. Повсеместное наличие биомассы открывает возможность создания современных рабочих мест в сельских районах, что позволяет противодействовать как ограниченному географическому распределению доступных ископаемых ресурсов, так и нынешней концентрации возможностей трудоустройства и получения дохода в городских районах.
3. Производство и использование биоресурсов может способствовать сохранению климата Земли

1

уменьшения

в пределах планетарных ограничений

границах путем

нагрузки

на окружающую среду. В отличие от ископаемых ресурсов, биоматериалы являются возобновляемыми и могут производиться с учетом принципов устойчивого развития, что позволяет снизить выбросы парниковых газов и смягчить последствия изменения климата. Они способствуют достижению углеродной нейтральности за счет поглощения CO_2 во время роста биомассы, что компенсирует выбросы, возникающие при их использовании. Устойчивое производство биоматериалов может предотвратить утрату биоразнообразия за счет содействия применению устойчивых и экологически безопасных методов ведения сельского и лесного хозяйства. В биоэкономике производство биоресурсов сочетается с предоставлением экосистемных услуг, таких как улавливание углерода, путем применения природоориентированных решений. Вместе с применением технологий, повышающих эффективность сельскохозяйственного производства, они могут сократить выбросы азота и фосфора в окружающую среду, снизить потребность в воде и способствовать восстановлению природных ресурсов, таких как почва и вода.

4. Биоэкономика может в значительной степени способствовать решению основных глобальных проблем путем содействия устойчивому развитию и охране окружающей среды. Она поддерживает продовольственную безопасность посредством устойчивых методов ведения сельского хозяйства и внедрения инноваций, способствующих устойчивой интенсификации, что, по определению Претти (2011), означает «получение большего объема продукции с той же площади земли при одновременном снижении негативного воздействия на окружающую среду и увеличении вклада в природный капитал и поток экологических услуг». Подходы, основанные на устойчивой интенсификации, ведут к более эффективному использованию ресурсов, минимизируют отходы и потери в производстве продовольствия и предусматривают применение методов, направленных на сокращение деградации окружающей среды и ускорение ее восстановления. Биоэкономика использует возобновляемые биологические ресурсы для производства материалов, продуктов и энергии, снижая зависимость от ископаемого топлива и смягчая последствия изменения климата. Благодаря развитию возобновляемой энергетики и биоразлагаемых

биоразлагаемых материалов, биоэкономика способствует борьбе с загрязнением и сохранению экосистем. Биоэкономика также способствует экономическому росту и созданию рабочих мест, стимулируя инновации в биотехнологиях и устойчивых отраслях. Она решает социальные проблемы, содействуя справедливому доступу к ресурсам и расширяя возможности сельских сообществ посредством устойчивого ведения сельского и лесного хозяйства. Интегрируя устойчивые практики в различных секторах, она предлагает решения проблем в области энергетики, климата и ресурсов, способствуя построению устойчивого и справедливого глобального будущего.

5. Для обеспечения экологических, социальных и экономических выгод устойчивая биоэкономика требует выполнения ряда ключевых условий. Необходимо устойчивое управление ресурсами, включая ответственное использование биомассы и защиту экосистем. Необходимо устойчивое совершенствование управления землепользованием в сельском и лесном хозяйстве. С помощью подхода, основанного на знаниях, необходимо применять более эффективные и устойчивые методы производства для повышения производительности, одновременно снижая негативное воздействие на окружающую среду, восстанавливая природные ресурсы и сохраняя биоразнообразие. Устойчивое управление ресурсами включает в себя замкнутые циклы питательных веществ и материалов, а также распределение всех биоресурсов таким образом, чтобы достичь максимальных экологических, социальных и экономических выгод посредством комплексного подхода и соблюдения «принципа приоритета продовольствия». Кроме того, использование биоресурсов должно осуществляться только в тех случаях, когда они являются более устойчивыми, чем ископаемые альтернативы. Далее, решающее значение имеют технологические инновации. Передовые биотехнологии и процессы могут, например, повысить эффективность использования ресурсов, максимально увеличить утилизацию отходов и снизить воздействие на окружающую среду. В дополнение к технологическим достижениям ключевую роль в содействии процессам трансформации играют новые формы организации общественных субъектов, бизнес-модели и институциональные инновации

обеспечить системные изменения. Переход к устойчивой экономике требует наличия производителей и потребителей, ориентированных на устойчивость, которые направляют экономическую деятельность посредством своих предприятий, возможностей, целенаправленных предпочтений и выбора. Осведомленность потребителей и спрос на экологически устойчивые продукты могут подтолкнуть рынок к экологически безопасным решениям или способствовать внедрению подходов, основанных на принципе достаточности, с целью сокращения потребления ресурсов и внедрения инновационных и потенциально более эффективных с точки зрения использования ресурсов способов удовлетворения спроса, способствующих долгосрочной устойчивости биоэкономики. Общественный переход в биоэкономике ведется за счет повышения осведомленности не только о глобальных вызовах, с которыми мы сталкиваемся, но и о способах их преодоления. Также жизненно важны сильные политические рамки. Правительства должны вводить нормативные акты, чтобы предотвратить чрезмерную эксплуатацию природных ресурсов, стимулировать устойчивые практики и поддерживать исследования и разработки. Международное сотрудничество может обеспечить справедливое распределение ресурсов и глобальную устойчивость. Социальная справедливость является еще одним краеугольным камнем. Биоэкономика должна уделять приоритетное внимание справедливому доступу к ресурсам, расширять возможности местных сообществ и обеспечивать, чтобы экономические выгоды получали все заинтересованные стороны.

Ссылки

- Angermeier PL, Karr JR (1994) Биологическая целостность против биологического разнообразия как политические директивы. Бионаука. <https://doi.org/10.2307/1312512>
- Aulakh J, Regmi A (2013) Оценка потерь продовольствия после сбора урожая — разработка согласованной методологии. Первое заседание Научного комитета по обзору Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН. Просмотрено 22 декабря 2014 г.
- BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2024) Энергетическое исследование BGR 2023. Данные и тенденции в области энергоснабжения Германии и мира (25). BGR, Ганновер, Германия; <https://doi.org/10.25928/es-2023-en>
- Брунсмэ Дж. (2009) Прогноз по ресурсам до 2050 года: насколько должны увеличиться площади земель, объемы воды и урожайность к 2050 году? В: Совещание экспертов ФАО. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-10199-8.00006-2>
- Европейская комиссия (2014) Отчет о критически важных сырьевых материалах для ЕС — профили критически важных сырьевых материалов.
- В сотрудничестве с Клаудией Вулц (ENTR). Европейская комиссия, Брюссель
- ФАО (2011) Состояние мировых земельных и водных ресурсов для продовольствия и сельского хозяйства (SOLAW) — управление системами, находящимися под угрозой. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций/Earthscan, Рим/Лондон
- ФАО (2021) Состояние мировых земельных и водных ресурсов для продовольствия и сельского хозяйства — системы на грани коллапса. Сводный доклад 2021. ФАО, Рим. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>
- ФАО (2024a) FishStat: Мировое производство по источникам производства 1961–2022 гг. Просмотрено 10 декабря 2024 г. В: FishStatJ. Доступно по адресу www.fao.org/fishery/en/statistics/software/fishstatj. Лицензия: CC-BY-4.0
- ФАО (2024b) FAOStat: Мировое производство по источникам производства, 1961–2022 гг. Просмотрено 10 декабря 2024 г. В FAOStat, доступно по адресу <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Лицензия: CC-BY-4.0
- Хильгер Т., Левандовски И., Винклер Б. и др. (2015) Семена перемен: генетические ресурсы растений и средства к существованию людей. В: *Agroecology. INTECH open science|open minds*, Риека, с. 123–146
- МГЭИК (2006) В: Эгглстон Х.С., Буэндиа Л., Мива К., Нгара Т., Танабе К. (ред.) Руководство по составлению национальных кадастров парниковых газов, подготовленное Национальной программой по кадастрам парниковых газов. IGES, Япония
- МГЭИК (2014) Изменение климата 2014: сводный доклад. В: Основная авторская группа, Пачаури Р.К., Мейер Л.А. (ред.) Вклад рабочих групп I, II и III в пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. МГЭИК, Женева, 151 с. https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf. Просмотрено 31 декабря 2016 г.
- МГЭИК (2023) Изменение климата 2024: сводный доклад шестого оценочного доклада МГЭИК. МГЭИК, Женева. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- Karr JR, Dudley DR (1981) Экологическая перспектива целей в области качества воды. *Environ Manag* 5(1):55–68. <https://doi.org/10.1007/BF01866609>
- Корп ОС (2024) Ископаемое топливо. Britannica. <https://www.britannica.com/science/fossil-fuel>. Проверено 23 октября 2024 г.
- Lambin EF, Turner BL, Geist HJ et al (2001) Причины изменения землепользования и растительного покрова: за пределами мифов. *Glob Environ Chang* 11(4):261–269
- Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства (2024) Причины изменения климата. <https://science.nasa.gov/climate-change/causes/>. Последнее посещение 23 октября 2024 г.
- Pretty J, Toulmin C, Williams S (2011) Устойчивая интенсификация в африканском сельском хозяйстве. *Int J Agric Sustain*. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0583>
- Priefer C, Jörissen J, Frör O (2017) Пути формирования биоэкономики. *Resources* 6(1). <https://doi.org/10.3390/resources6010010>
- REN21 (2016) Отчет о глобальном состоянии возобновляемых источников энергии за 2016 год. Секретариат REN21, Париж. ISBN 978–3–9818107–0–7

Ричардсон К., Стеффен В., Лухт В. и др. (2023) Земля за пределами шести из девяти планетарных границ. Sci

9(37). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>

Смитс Э.М.В., Фаай А.П.К., Левандовски И.М. и др. (2007) Восходящая оценка и обзор глобального потенциала биоэнергетики до 2050 года. Prog Energy Combust Sci. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2006.08.001>

Смит П., Мартино Д., Цай Ц. и др. (2007) Сельское хозяйство. В: Метц Б., Дэвидсон О.Р., Бош П.Р., Дэйв Р., Мейер Л.А. (ред.) Изменение климата 2007: смягчение последствий, вклад Рабочей группы III в четвертый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Cambridge University Press, Кембридж, Великобритания/Нью-Йорк

Стеффен В., Ричардсон К., Рокстрём Дж. и др. (2015) Планетарные границы: ориентиры для развития человечества на меняющейся планете. Science. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>

Стокгольмский центр устойчивости (2023) Планетарные границы. <http://www.stockholmresilience.org/research/>

[planetary-boundaries.html](https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458). Последнее посещение 23 октября 2024 г.

ЮНЕП (1997) В: Миддлтон Н., Томас Д. (ред.) «Всемирный атлас опустынивания». Совместное издание в США, Центральной и Южной Америке: Wiley, Лондон/Нью-Йорк

ЮНЕП (2023) «Frontiers 2023. Что готовится? Оценка потенциального воздействия отдельных новых альтернатив традиционным продуктам животного происхождения». ЮНЕП, Найроби. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44236>

фон Берг К., Карус М. и др. (2023) Возобновляемый углерод как руководящий принцип для устойчивых углеродных циклов. Инициатива по возобновляемому углероду, Хюрт. <https://doi.org/10.52548/CXFS7519>

Welp LR, Keeling RF, Meijer HAJ и др. (2011) Межгодовая изменчивость изотопов кислорода в атмосферном CO₂ под влиянием Эль-Ниньо. Nature. <https://doi.org/10.1038/nature10421>

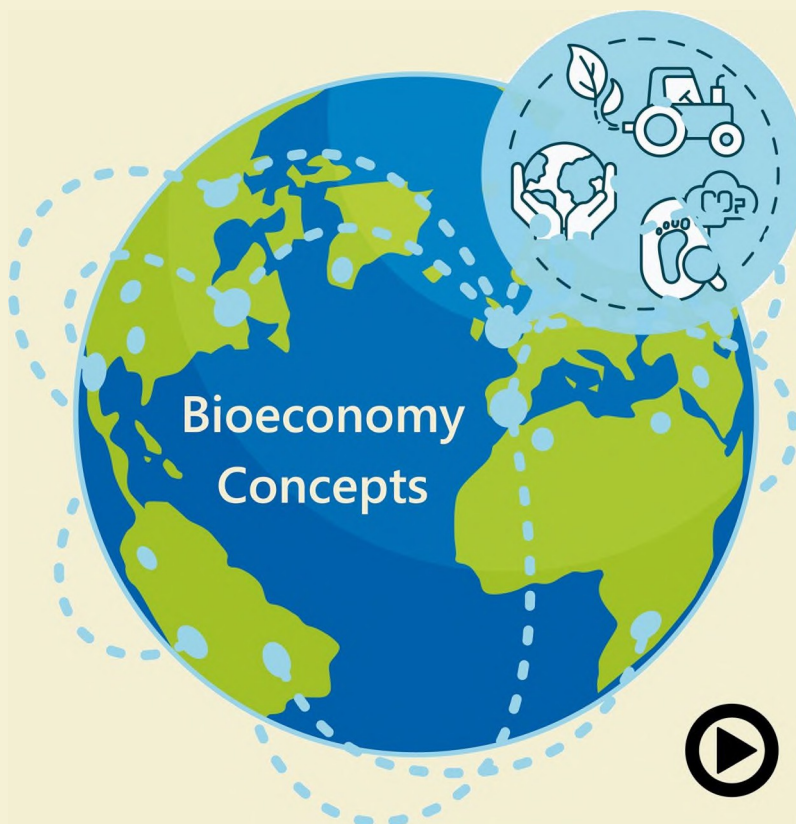
Открытый доступ. Настоящая глава лицензирована в соответствии с условиями международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает использование, обмен, адаптацию, распространение и воспроизведение в любом носителе или формате при условии указания соответствующей ссылки на оригинального автора (авторов) и источник, предоставления ссылки на лицензию Creative Commons и указания на наличие внесенных изменений.

Изображения или другие материалы третьих лиц в данной главе включены в лицензию Creative Commons данной главы, если иное не указано в строке с указанием авторства материала. Если материал не включен в лицензию Creative Commons данной главы, а предполагаемое вами использование не разрешено законодательством или выходит за рамки разрешенного использования, вам необходимо получить разрешение непосредственно у владельца авторских прав.



Концепции биоэкономики

Регина Бирнер, Валентин Шлехт, Ян Вайк, Рикардо Варгас-Карпинтеро и Ирис Левандовски



○ Рис. 2.0 Концепции биоэкономики (► <https://doi.org/10.1007/000-htc>)

Дополнительная информация Онлайн-версия содержит дополнительные материалы, доступные по адресу https://doi.org/10.1007/978-3-032-09098-0_2. Доступ к видео можно получить, щелкнув ссылку DOI в подписи к рисунку или отсканировав эту ссылку с помощью приложения SN More Media.

© Авторы 2026

I. Lewandowski et al. (eds.), *Bioeconomy*, https://doi.org/10.1007/978-3-032-09098-0_2

Содержание

2.1	Происхождение концепции биоэкономики – 21
2.1.1	Первое использование терминов «биоэкономика» и «биоэкономика» – 21
2.1.2	Развитие концепции «биоэкономики, основанной на знаниях» в Европейском союзе – 22
2.2	Возникновение биоэкономики как глобальной концепции – 25
2.2.1	США – 25
2.2.2	Латинская Америка и Карибский бассейн – 26
2.2.3	Азия – 27
2.2.4	Африка – 27
2.2.5	Международные организации – 27
2.2.6	Глобальные саммиты по биоэкономике – 27
2.3	Меняющиеся перспективы на биоэкономике – 28
2.3.1	Обзор различных точек зрения – 28
2.3.2	Ранние точки зрения: замещения и инновации в биотехнологии – 29
2.3.3	Критика ранних подходов – 31
2.3.4	«Экологизация» биоэкономики – 33
2.4	Заключение – 40
	Список литературы – 41

В данной главе рассматриваются происхождение и эволюция концепции биоэкономики. Вначале прослеживается история первых употреблений терминов «биоэкономика» и «биоэкономика», затем анализируется развитие концепции «биоэкономики, основанной на знаниях» в Европейском союзе, после чего обсуждается становление биоэкономики как глобальной концепции. Отмечается переход от «перспективы замещения ресурсов» в биоэкономике к «перспективе биотехнологических инноваций» и, в последнее время, к «зеленой биоэкономике». Стратегии биоэкономики все чаще становятся факторами, способствующими устойчивому развитию. Обсуждаются критические взгляды на биоэкономике, при этом проводится различие между «фундаментальной критикой» и «критикой зеленого пиара» биоэкономики. В последнем разделе также рассматриваются связи между концепцией биоэкономики и концепциями «устойчивого развития», «зеленой экономики», «циркулярной экономики», «социального биоразнообразия», а также «трансформации» и «перехода».

Цели обучения

После изучения этого раздела вы...

- ... сможете дать определение термину «биоэкономика» (см. ► раздел 2.3).
- ... сможете описать происхождение и эволюцию эволюцию концепции биоэкономики (см. ► Разделы 2.1 и 2.2).
- ... сможете объяснить различные точки на биоэкономике (см. ► раздел 2.3).
- ... уметь выявлять региональные различия в перспективах и стратегиях биоэкономики (см. ► раздел 2.2).
- ... уметь объяснить связь между концепцией биоэкономики и концепциями устойчивого развития, «зеленой» экономики, циркулярной экономики, социального биоразнообразия и трансформации и перехода (см. ► раздел 2.3).

2.1 Происхождение концепции биоэкономики

2.1.1 Первое использование терминов «биоэкономика» и «биоэкономика»

По мнению Бонаюти (2014, с. 54), использование термина «биоэкономика» можно проследить до Земана, который в конце 1960-х годов использовал этот термин для обозначения экономического порядка, должным образом признающего биологические основы практически всех видов экономической деятельности. Как далее поясняет Бонаюти (2014, с. 54), Георгеску-Рогену «понравился этот термин, и с начала 1970-х годов он сделал его лозунгом, обобщающим важнейшие выводы, к которым он пришел за всю свою исследовательскую жизнь». Важным элементом в использовании термина «биоэкономика» Георгеску-Рогеном была его обеспокоенность тем, что неограниченный рост не будет совместим с основными законами природы (Bonaiuti 2014, с. 54).

Такое использование термина «биоэкономика» значительно отличается от раннего использования термина «биоэкономика», который относился к применению биологических знаний в коммерческих и промышленных целях. Это довольно контрастное использование двух терминов можно считать «иронией судьбы». Ряд авторов (например, фон Браун 2014, с. 7, и Готтвальд 2016, с. 11) приписывают первое употребление термина «биоэкономика» работам Хуана Энрикеса Кабота, мексикано-американского ученого и бизнесмена. В статье под названием «Геномика и мировая экономика» Энрикес рассуждал о том, что применение открытий в области геномики приведет к перестройке роли компаний и отраслей «таким образом, что это изменит мировую экономику». В этой статье он обрисовал «создание нового экономического сектора — сектора жизни

2 наук» (Энрикес 1998, с. 925). Хотя в этой статье не используется термин «биоэкономика» (как отмечают Эверсберг и др. (2023, с. 569), «похоже, Энрикес никогда не использовал термин «биоэкономика» — в его работах встречается только «биотехномика» записано» (Энрикес, 2002)), этот источник представляет собой одну из истоков концепции биоэкономики: достижения в области биологических наук и биотехнологии, которые обладают потенциалом для трансформации многих процессов промышленного производства. Однако мнение о том, что «биологическая революция» в конечном итоге преобразит промышленность, в то время не было новым. «Промышленное воздействие биологической революции» было сформулировано еще в начале 1980-х годов (Glick 1982).

2.1.2 Развитие концепции «биоэкономики, основанной на знаниях» в Европейском союзе

Несмотря на то что термин «биоэкономика» впервые был введен учеными, занимавшимися промышленными последствиями достижений в биологии, главной причиной того, что биоэкономика стала важной концепцией политики в Европе, стало сознательное решение сотрудников Европейской комиссии (ЕК) продвигать эту концепцию. Одним из ключевых участников этой работы был Кристиан Патерманн, бывший директор программы «Биотехнологии, сельское хозяйство и питание» в Генеральном директоре по исследованиям, науке и образованию Европейской комиссии (ЕК). Как указали Патерманн и Агилар в статье «Истоки биоэкономики в Европейском союзе» (Patermann and Aguilar 2018, стр. 22), термин «биоэкономика» использовался в двух источниках, которые вдохновили сотрудников Комиссии в начале 2000-х годов. Одним из них был документ под названием «На пути к биоэкономике — проблемы и вызовы», опубликованный канадским аналитическим центром по вопросам окружающей среды Pollution Probe (2002). Другим был документ, опубликованный ОЭСР (2004), в котором «биоэкономика» определялась как «концепция

использующей возобновляемые биоресурсы, эффективные биопроцессы и экпромышленные кластеры для производства экологически устойчивых биопродуктов, создания рабочих мест и доходов» (ОЭСР 2004, с. 5). Этот документ был подготовлен по итогам заседания «Комитета ОЭСР по научно-технической политике на уровне министров» в январе 2004 года. Как объясняют Патерманн и Агилар (2018, с. 22), к сожалению, «в архивах ОЭСР нет конкретной информации о том, от кого исходила первоначальная идея «биоэкономики», в частности соответствующая формулировка в документе, или какая делегация государства-члена инициировала или особо поддержала ее». Хотя истоки концепции биоэкономики, таким образом, остаются несколько неясными, совершенно очевидно, что Патерманн и его коллеги сразу осознали уникальный потенциал биоэкономики как инновационной концепции политики, которая позволила бы ЕС реагировать на новые возможности. Одной из таких возможностей было экономическое использование возникающего нового потенциала применения биотехнологий, как указано выше. Еще одной возможностью, заложенной в концепции биоэкономики, является замена ископаемых ресурсов биоресурсами как для производства энергии, так и для использования в качестве сырья. В начале 2000-х годов лица, принимающие решения в ЕС, испытывали сильный стимул к поиску новых концепций, поскольку в то время не было достаточного понимания необходимости повышения производительности сельского хозяйства для удовлетворения будущих потребностей в продовольствии и биомассе. Финансирование сельскохозяйственных исследований, имеющих ключевое значение для повышения производительности сельского хозяйства, сокращалось на протяжении 1990-х годов, несмотря на возникающую потребность в производстве биомассы для целей, отличных от производства продовольствия (Geoghegan-Quinn 2013).

При разработке концепции биоэкономики в ЕС к ней было добавлено определение «основанная на знаниях», в результате чего она стала «биоэкономикой, основанной на знаниях». Обозначение «основанная на знаниях» соответствовало инновационной политике ЕС, преобладавшей в то время. На встрече в Лиссабоне в 2000 году Европейский совет взял на себя обязательство создать «самую конкурентоспособную и динамичную экономику в мире, основанную на знаниях» (ЕС 2000). Концепция экономики, основанной на знаниях, отражает видение достижения экономического роста

за счет высокотехнологичных отраслей, что требует инвестиций в инновации и высококвалифицированную рабочую силу.

Усилия ЕС по продвижению концепции «биоэкономики, основанной на знаниях», оказались чрезвычайно успешными. В 2005 году Европейская комиссия провела конференцию под названием «Новые перспективы биоэкономики, основанной на знаниях» (ЕС 2005). На этой конференции Янез Поточник, в то время занимавший пост Европейского комиссара по науке и исследованиям, выступил с речью под названием «Превращение знаний в области наук о жизни в новые, устойчивые, эффективные и конкурентоспособные продукты» (Potočnik 2005). В так называемом «Кёльнском документе» 2007 года этот заголовок был процитирован в качестве определения биоэкономики, основанной на знаниях. Кёльнский документ был основан на результатах семинара, проведённого в 2007 году в городе Кёльне в рамках председательства Германии в Совете Европейского союза. В семинаре приняли участие эксперты из научно-исследовательских организаций и компаний, представляющих различные области, включая растениеводство, биотехнологию, биоэнергетику и биомедицину (ЕС, 2007). В Кёльнском документе были подчеркнуты два вышеупомянутых аспекта биоэкономики:

- С одной стороны, в документе была определена роль биотехнологий как «важного столпа основа европейской экономики к 2030 году, незаменимой для устойчивого экономического роста, занятости, энергоснабжения и поддержания уровня жизни» (ЕС 2007, стр. 4). Это измерение биоэкономики можно назвать «перспективой биотехнологических инноваций».
- С другой стороны, в Кельнском документе подчеркивается использование сельскохозяйственных культур в качестве «возобновляемого промышленного сырья для производства биотоплива, биополимеров и химикатов» (ЕС 2007, стр. 4). В документе также предусматривалось, что «к 2020 году, в дополнение к технологиям газификации, которые к тому времени достигнут зрелости, переработка лигноцеллюлозной биомассы путем ферментативного гидролиза станет стандартной технологией, открывающей доступ к обширным запасам сырья для биопроцессов и производства транспортного топлива». Этот аспект биоэкономики можно назвать «перспективой замещения ресурсов».

Изменение акцентов между этими двумя перспективами с течением времени более подробно обсуждается в ► разд.

2.3 ниже. Развитие концепции

биоэкономики сопровождалось увеличением финансирования, особенно в рамках рамочных программ ЕС по исследованиям и технологическому развитию. 7-я рамочная программа предусматривала бюджет почти в два миллиарда евро на исследования и разработки в области биоэкономики, что является замечательным достижением, учитывая, что эта концепция была еще довольно новой на момент разработки программы (Patermann and Aguilar 2018, стр. 22). Последующие рамочные программы ЕС («Горизонт 2020» и «Горизонт Европа») продолжают оказывать мощную поддержку биоэкономике (ЕС 2013, 2021).

Развитие концепции биоэкономики институтами ЕС нашло отражение в усилиях по внедрению этой концепции в государствах-членах ЕС. Например, Германия в 2010 году создала Совет по биоэкономике на федеральном уровне под руководством Федерального министерства образования и науки (BMBF). В 2010 году была опубликована «Национальная исследовательская стратегия «Биоэкономика 2030» (BMBF 2010), и федеральное правительство обязалось выделить 2,4 млрд евро на исследования в области биоэкономики до 2016 года (BMBF 2014, стр. 9). В 2014 году Германия опубликовала «Национальную стратегию в области биоэкономики». Эта стратегия имела подзаголовок «Возобновляемые ресурсы и биотехнологические процессы как основа для продовольствия, промышленности и энергетики», что отражает как перспективу биотехнологических инноваций, так и упомянутую выше перспективу замещения ресурсов. В 2020 году эта национальная стратегия в области биоэкономики была обновлена путем определения руководящих принципов и целей будущей политики в сфере биоэкономики, а также объединения финансирования исследований и политических рамок для биоэкономики (BMBF 2020). Два всеобъемлющих принципа сопровождают цели и меры Национальной стратегии биоэкономики: (i) биологические знания и постоянно развивающиеся технологии как опоры перспективной, устойчивой и климатически нейтральной экономической системы; и (ii) биогенные ресурсы как основа для устойчивой и циркулярной экономики. Всеобъемлющей стратегической целью данной стратегии является согласование с 17 целями устойчивого развития

(ЦУР) ООН (BMBF 2020), которые более подробно обсуждаются в ► разд. 2.3.4 ниже.

Другие европейские страны также разработали политику и стратегии, связанные с биоэкономикой

. Существовали значительные различия в том, насколько эти политики и стратегии были конкретно сосредоточены на биоэкономике или, скорее, на связанных с ней аспектах, таких как биотехнологии или возобновляемая энергия. За публикацией Европейской стратегии биоэкономике в 2012 году, которая более подробно описана ниже, последовала разработка национальных стратегий биоэкономике в нескольких европейских странах. Финляндия уже опубликовала стратегию биоэкономике в 2014 году. Австрия и Норвегия, если привести еще два примера, в 2015 году находились в процессе подготовки специальных стратегий в области биоэкономике (BÖR 2015a). В период с 2014 по 2020 год еще восемь стран ЕС, включая Австрию, Францию, Ирландию, Италию, Латвию, страны Северной Европы и Испанию, приняли специальные стратегии в области биоэкономике. По состоянию на 2024 год одиннадцать государств-членов ЕС имели специальные стратегии в области биоэкономике, в то время как еще семь находились в процессе разработки своих стратегий (IACGB 2024). Большинство национальных стратегий имеют конкретную направленность. Например, Португалия делает акцент на «голубой» биоэкономике, которая предполагает основанное на знаниях производство и использование водных биоресурсов для создания инновационных продуктов, процессов и услуг. Между тем многие стратегии стали весьма конкретными, предусматривая специальные планы действий, как в случае с Австрией, Ирландией и Португалией, или устанавливая четкие цели. Примером служит Финляндия, которая стремится удвоить добавленную стоимость своей биоэкономике к 2035 году экологически, социально и экономически устойчивым образом. Еще одним направлением развития в ЕС является разработка стратегий биоэкономике на субнациональном (региональном) уровне. Многие европейские регионы или федеральные земли включили биоэкономике в свои политические повестки дня (IACGB 2024).

На уровне Европейского союза первая Европейская стратегия и план действий в области биоэкономике, как упоминалось выше, были приняты в 2012 году (ЕС 2012). Их основной задачей

было содействие переходу от экономики, основанной на ископаемом топливе, к биоэкономике. В 2018 году была опубликована обновленная версия стратегии (ЕС 2018a) вместе с планом действий (ЕС 2018b). Пятью основными целями первоначальной версии 2012 года были: (1) продовольственная безопасность; (2) устойчивое управление природными ресурсами;

(3) увеличение биоресурсов; (4) смягчение последствий изменения климата и адаптация к ним; и (5) создание рабочих мест. Эти цели были сохранены в версии Стратегии 2018 года, но сфера ее действия была расширена за счет трех новых направлений деятельности: (i) расширение биосекторов и рынков; (ii) внедрение биоэкономике по всей Европе; и (iii) деятельность в рамках экологических и планетарных границ (Dolge et al. 2023; ЕС 2018a).

В ноябре 2025 года была опубликована обновленная версия Европейской стратегии в области биоэкономике (Европейская комиссия (ЕК) 2025). Она связана с целями «Зеленого курса» и подчеркивает вклад биотехнологий и биопроизводства. «Зеленый курс» был запущен ЕК в 2019 году и направлен на достижение климатической нейтральности ЕС к 2050 году (ЕК 2019) (см. Вставку 2.1 «Зеленый курс» и биоэкономике ниже). В 2024 году ЕК опубликовала сообщение под названием «Строим будущее вместе с природой: стимулирование биотехнологий и биопроизводства в ЕС» (ЕК 2024). Как название, так и основная направленность сообщения соответствуют описанной выше концепции инноваций в области биотехнологий. Как будет подробнее рассмотрено ниже, данное сообщение также тесно связано с исполнительным указом (ИУ) о биоэкономике, который был принят США в 2022 году (Белый дом 2022).

Обновление Европейской стратегии в области биоэкономике предоставило возможность учесть точки зрения молодежи. Европейская комиссия отобрала Молодежных послов по биоэкономике, чтобы они представляли голос молодежи в сфере биоэкономике. В своем документе «Видение будущей политики в области биоэкономике» молодые европейские послы описывают свое видение биоэкономике как «целостный подход к созданию устойчивой, основанной на принципах кругового оборота и биотехнологий экономики посредством справедливого перехода, сознательно нацеленного на сокращение экономической нагрузки в пределах регенеративных

потенциал» (Молодежные послы ЕС 2024, стр. 3). Для формирования ориентированной на будущее политики в области биоэкономики они требуют: (i) вовлечения молодежи в процесс принятия решений; (ii) развития инклюзивной дискуссии, например, посредством междисциплинарных и инклюзивных подходов в образовании в сфере биоэкономики, а также посредством образования в сфере биоэкономики на всех уровнях; (iii) переосмысления экономики: от бесконечного роста к пост-росту; (iv) ответственного использования биоресурсов; и (v) оценку реальных издержек и выгод биоэкономики (Молодежные послы ЕС 2024).

2.2 Возникновение биоэкономики как глобальной концепции

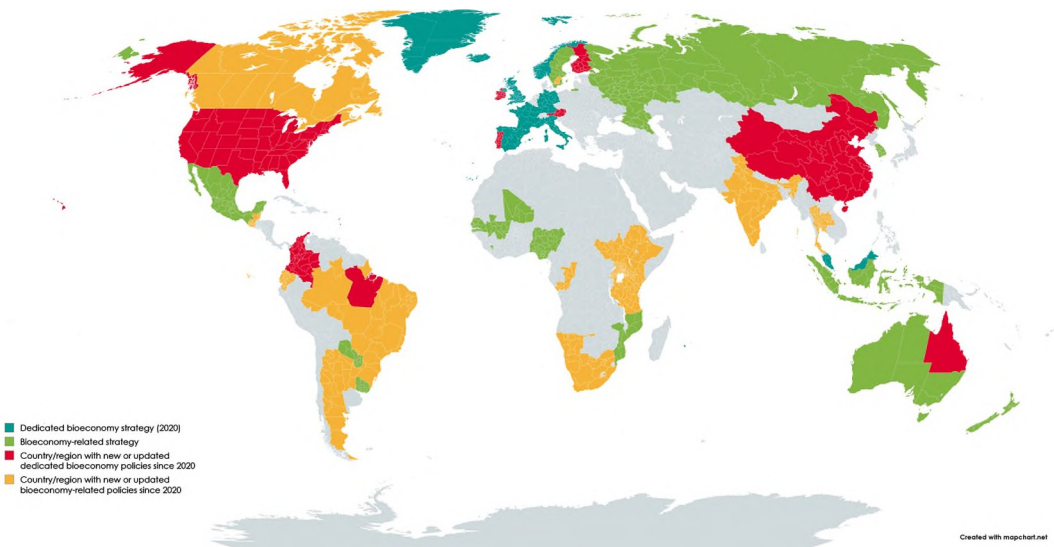
ЕС — не единственный регион мира, где концепция биоэкономики продвигается с начала 2000-х годов. Как показано ниже, в первые десятилетия XXI века биоэкономика стала глобальной концепцией. По состоянию на 2024 год более 60 стран разработали специальные или связанные с ней стратегии в области биоэкономики (см. рис. 2.1 ниже). В глобальном масштабе биоэкономика все чаще рассматривается как фактор, способствующий устойчивому развитию (см. ▶ раздел 2.3 ниже).

2.2.1 США

В 2012 году администрация Обамы обнародовала официальную стратегию США в области биоэкономики под названием «Национальный план развития биоэкономики» (Белый дом, 2012). В этой стратегии биоэкономика определялась следующим образом:

«Биоэкономика — это экономика, основанная на использовании исследований и инноваций в области биологических наук для создания экономической деятельности и общественного блага. Биоэкономика США окружает нас повсюду: новые лекарства и диагностические средства для улучшения здоровья человека, более урожайные продовольственные культуры, новые виды биотоплива для снижения зависимости от нефти и химические промежуточные продукты на биологической основе — и это лишь некоторые примеры» (Белый дом, 2012, стр. 7). Это определение отражает две точки зрения на биоэкономику, обсуждавшиеся выше: с точки зрения биотехнологических инноваций и с точки зрения замещения ресурсов. Также следует отметить, что в стратегии США фармацевтическая промышленность занимает важное место как часть биоэкономики.

12 сентября 2022 года президент Байден подписал Указ (EO) под названием «Содействие инновациям в области биотехнологии и биопроизводства для устойчивой, безопасной и надежной американской биоэкономики» (Белый дом, 2022). Указ направлен на формирование рамок промо-



○ Рис. 2.1 Политика и стратегии в области биоэкономики в мире в 2020–2024 гг. на основе данных IACGB (2024). © Валентин Шлехт

развития биоэкономики как задачи «всего правительства» с обязательствами в отношении биотехнологических исследований, развития кадров в сфере биотехнологий, усиление поддержки биопроизводства и внедрение оптимизированных нормативных актов, направленных на устранение препятствий и снижение транзакционных издержек (IACGB 2024). Эта стратегия явно делает акцент на перспективах инноваций в биотехнологии.

2.2.2 Латинская Америка и Карибский бассейн

При разработке своих стратегий в области биоэкономики страны Латинской Америки и Карибского бассейна (ЛАК) сосредоточились на структурных условиях, которые позволили им использовать биоэкономику в качестве модели развития. К ним относится огромное биоразнообразие стран ЛАК (см.

► гл. 40), важную роль сельскохозяйственного производства как одного из основных видов экономической деятельности видов экономической деятельности и основной вклад в их валовой внутренний продукт (ВВП), большие объемы остаточной биомассы от сельскохозяйственного производства, а также высокий потенциал для расширения производства биоресурсов (Rodríguez et al. 2019). В Бразилии ранние инициативы по развитию биоэкономики посредством производства биоэнергии получили дальнейшее развитие в 2004 году благодаря Национальной программе по биодизельному топливу (PNPB) и в 2007 году — благодаря Национальной политике развития биотехнологий (Aramendis et al. 2018). В Аргентине меры по поддержке национальных программ в области биоэкономики начались в 2005 году (Aramendis et al. 2018).

Сотрудничество с развивающейся биоэкономикой в ЕС также способствовало росту экономики в регионе ЛАК. Примером служит двурегиональный проект «На пути к латиноамериканской и карибской биоэкономике, основанной на знаниях, в партнерстве с Европой» (2011–2013 гг.), который способствовал выявлению ключевых областей для биоэкономики в странах ЛАК (Trigo et al. 2013; Hodson de Jaramillo et al. 2019; Aramendis et al. 2018). Кроме того, региональные организации ПСА

(Межамериканский институт по сотрудничеству в области сельского хозяйства) и ЭКЛАК ООН (Экономическая комиссия ООН для Латинской Америки и Карибского бассейна) продвигали концепцию биоэкономики как движущую силу устойчивого и инклюзивного роста и как стратегию трансформации производственных систем стран. Продвижение концепции биоэкономики в регионе укрепило политическую волю стран ЛАК к разработке стратегий и программ в области биоэкономики и отраслевой политики, связанных с биотехнологиями, биоэнергетикой и «зеленым» ростом (Siegel et al. 2022).

В 2020-х годах в регионе ЛАК на первый план вышли специализированные стратегии в области биоэкономики. До 2020 года Коста-Рика была единственной страной ЛАК, имевшей собственную национальную стратегию в области биоэкономики (IACGB 2020). В 2019 году Колумбия приступила к разработке национальной стратегии в области биоэкономики, которая была официально обнародована в 2020 году с акцентом на индустриализацию, территориальное развитие и устойчивое использование биоразнообразия (Johnson et al. 2022; IACGG 2024; Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación 2020). В 2024 году Бразилия запустила национальную комплексную стратегию биоэкономики (MDIC 2024; Glatzel et al. 2024). Среди целей этой стратегии ключевую роль играют социальные аспекты и биоразнообразие. В этом контексте сформировалась новая перспектива в отношении биоэкономики, получившая название «социально-биоразнообразная

биоэкономики» (см. ► раздел 2.3.4 ниже и ► гл. 40). Эта концепция основана на стремлении защитить экосистемы, а также социального благополучия, а также обеспечения возможностей для получения средств к существованию для местных сообществ в лесных районах Бразилии (IACGG 2024). Этот подход, например, лежит в основе стратегии биоэкономики штата Пара, расположенного в бразильской части Амазонки (Costa et al. 2020). Другие страны Латинской Америки и Карибского бассейна, такие как Эквадор, Гватемала, Пуэрто-Рико, Уругвай и Парагвай, также начали процесс разработки специальных стратегий в области биоэкономики. Кроме того, существуют специальные региональные программы и планы действий в области биоэкономики, направленные на биооснованные секторы и продукты, на научные исследования и разработки, а также на использование биоразнообразия (IACGG 2024).

2.2.3 Азия

Вскоре после подписания указом США Китай обнародовал свой 14-й пятилетний план, в котором также уделяется большое внимание перспективам инноваций в области биотехнологий. Он содержит следующие ключевые области развития: (i) биомедицина для жизни и здоровья; (ii) модернизация сельского хозяйства; (iii) применение «зеленой» и низкоуглеродной биомассы; и (iv) предотвращение и контроль рисков национальной биобезопасности (IACGB 2024, стр. 22).

Другие азиатские страны также опубликовали политику и стратегии, связанные с биоэкономикой, в первые два десятилетия XXI века. Например, Малайзия уже опубликовала «Программу трансформации биоэкономики» в 2012 году (BÖR 2015a). Таиланд и Япония также имеют специальные стратегии в области биоэкономики. Национальная стратегия Японии в области биоэкономики ежегодно пересматривается, а Таиланд ввел модель «биоциркулярной зеленой экономики» в качестве стратегической рамки для национального развития и восстановления после пандемии (IACGB 2024, стр. 22).

2.2.4 Африка

Биоэкономика развивалась и на африканском континенте. Южная Африка уже в 2013 году опубликовала специальную стратегию в области биоэкономики, в которой основное внимание уделялось инновациям в здравоохранении, сельском хозяйстве, экологии и использовании знаний коренных народов (BÖR 2015a). С тех пор восточноафриканские страны — Бурунди, Эфиопия, Кения, Руанда, Южный Судан, Танзания и Уганда — сотрудничали в рамках Сети по развитию Восточной Африки (BioInnovate Africa) с целью разработки региональных стратегий биоэкономики, ориентированных на инновации. Восточноафриканское сообщество (ЕАС) разработало стратегию биоэкономики для своих государств-членов в 2022 году (ЕАС 2022). Миссия ЕАС заключается в содействии интеграции, экономическому развитию, социальному прогрессу, а также миру и безопасности в регионе Восточной Африки. Стратегия ЕАС предусматривает, что биоэкономика будет стимулировать устойчивый экономический рост в регионе за счет создания рабочих мест, использования биоресурсов региона для производства товаров и услуг, а также будет способствовать охране окружающей среды и смягчению последствий изменения климата.

2.2.5 Международные организации

Еще одним признаком роста биоэкономики как глобальной концепции является включение биоэкономики в стратегии международных организаций. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) включила биоэкономiku в свою последнюю научную стратегию (ФАО 2024). ФАО рассматривает биоэкономiku как возможность для фермеров и признает потенциальный вклад биоэкономики в устойчивое продовольствие и сельское хозяйство. Всемирный банк также все чаще использует концепцию биоэкономики, например, оказывая поддержку странам в разработке их стратегий в области биоэкономики (см., например, Всемирный банк 2023).

2.2.6 Глобальные саммиты по биоэкономике

Развитию биоэкономики как глобальной концепции также способствовали Глобальные саммиты по биоэкономике. В декабре 2015 года в Берлине состоялся первый Глобальный саммит по биоэкономике (GBS). Мероприятие было организовано Немецким советом по биоэкономике в сотрудничестве с Международным консультативным советом по глобальной биоэкономике (IACGB) — независимым аналитическим центром, миссия которого заключается в продвижении глобальной биоэкономики как устойчивого и перспективного движения на благо планеты и людей. GBS 2015 собрал более 700 экспертов в области биоэкономики из более чем 80 стран (BÖR 2015b, стр. 4). Немецкий совет по биоэкономике и IACGB организовали еще два Глобальных саммита по биоэкономике в Германии, которые прошли под эгидой и при поддержке Федерального министерства образования и научных исследований (BMBWF) и Федерального министерства продовольствия и сельского хозяйства (BMEL). Одним из них стал GBS 2018, который вновь прошел в Берлине, а другим — GBS 2020, который из-за разразившегося в то время коронавирусного кризиса стал виртуальным мероприятием. Впоследствии IACGB принял решение проводить последующие Глобальные саммиты по биоэкономике в разных регионах мира. GBS 2024 прошел в Найроби, Кения. Его принимающей стороной выступила Восточноафриканская научно-техническая

(EASTECSO) Восточноафриканского сообщества (ЕАС), Международным центром физиологии и экологии насекомых (*icipe*),

программа BioInnovate Africa, и

Стокгольмский институт окружающей среды (SEI) в

сотрудничестве с 14 другими организациями, выступившими в качестве партнеров и спонсоров. Более 500 участников прибыли в Найроби для участия в GBS 20204, а более 3000 следили за саммитом онлайн (см. GBS24 2024).

Глобальное представление о концепции биоэкономики, выраженное в коммюнике GBS, со временем эволюционировало и расширилось, что видно из сравнения определений биоэкономики

, приведенных в ► разд. 2.3.4. Наряду с коммюнике IACGB 2024 года

их «Молодежные чемпионы по биоэкономике» (BYC), представляющие 18 национальностей со всего мира, опубликовали «Молодежное коммюнике: общее видение устойчивой глобальной биоэкономики», в котором они призывают к действиям по развитию устойчивой биоэкономики и требуют: (i) расширить возможности молодежи посредством образования и инклюзивной политики; (ii) укреплять инфраструктуру и ресурсы для устойчивого развития; и (iii) содействовать национальному, региональному и глобальному сотрудничеству и инновациям (МКГБ «Молодежные чемпионы биоэкономики» (BYC) 2024).

2.3 Эволюция взглядов на биоэкономику

Возникновение биоэкономики как глобальной концепции связано с различными точками зрения, которые эволюционировали с течением времени. В данном разделе описывается эволюция этих точек зрения.

2.3.1 Обзор различных точек зрения

Как показано выше, развитие концепции биоэкономики изначально характеризовалось двумя подходами: (1) подход, основанный на замещении ресурсов, и (2) подход, основанный на биотехнологических инновациях. Ранние документы, которые привели к развитию

биоэкономики, такие как цитируемый выше «Кёльнский документ», уже содержали ссылки на защиту климата в качестве обоснования для биоэкономики (ЕС 2007, стр. 4). Более того, биоэкономика в целом рассматривалась как стратегия, обеспечивающая устойчивый экономический рост (см., например, ЕС 2007, стр. 4). Однако по мере дальнейшего развития концепции биоэкономики во втором десятилетии XXI века все шире признавалось, что экологические цели необходимо более четко включить в концепцию биоэкономики, поскольку использование биотехнологических инноваций и биоресурсов не является «автоматически» более экологичным, чем альтернативные варианты (Gawel et al. 2019). Растущая критика использования биоэнергии, связанная с кризисом цен на продовольствие 2008–2009 годов, является ярким примером этого сдвига акцентов

(см. ► раздел 2.3.3 ниже).

Литература, посвященная перспективам биоэкономики развивалась параллельно с развитием концепции биоэкономики. С учетом этой литературы (Bugge et al. 2016; Hausknot et al. 2017; Meyer 2017; Hoff et al. 2018; IACGB 2024) можно выделить следующие три группы основных подходов к биоэкономике

(см. таблицу 2.1):

1. перспектива замещения ресурсов;
2. перспектива биотехнологических инноваций; и
3. перспектива «зеленой биоэкономики», которая охватывает концепции устойчивости, циркулярности, социального биоразнообразия, а также перехода и трансформации.

Эти подходы соответствуют концепциям, которые Бугге и др. (2016) определяют в своем обзоре литературы как «концепцию биоресурсов», «концепцию биотехнологии» и «концепцию биоэкологии». «Биоэкология» относится к отрасли «экологии, занимающейся взаимосвязью растений и животных с их общей средой» (Merriam-Webster 2024). Вместо этого термина здесь было выбрано обозначение «зеленая биоэкономика», поскольку оно охватывает более широкий спектр подходов к биоэкономике, чем предполагает термин «биоэкология».

○ Таблица 2.1 Перспективы биоэкономики

	(1) Перспектива замещения ресурсов	(2) Перспектива биотехнологических инноваций	(3) Перспектива «зеленой» биоэкономики (устойчивость; циркулярность; социальное биоразнообразие; трансформация и переход)
Фокус	Ориентирован на замену ресурсов ископаемого происхождения ресурсами биологического происхождения (биоэнергия, биоматериалы)	Ориентирована на исследования и применение наук о жизни и биотехнологий в различных секторах экономики	Ориентирован на устойчивое развитие и важность экологических процессов, включая рациональное использование биоразнообразия и его связь с социокультурным разнообразием
Основные аспекты	Управление ресурсами; акцент на устойчивом управлении сельскохозяйственными, лесными и морскими ресурсами; продвижение практик, обеспечивающих долгосрочную доступность ресурсов	Технологические инновации и промышленная трансформация: инвестиции в научные исследования и разработки (НИОКР) и сотрудничество с технологическими секторами для повышения эффективности биологических производственных процессов	Устойчивость, циркулярность, социальное биоразнообразие; переход и трансформация; экосистемные услуги; рациональное использование и сохранение биоразнообразия в различных экосистемах, включая леса и агролесохозяйственные системы; восстановление природных ресурсов; диверсификация цепочек создания стоимости в сети создания стоимости; социальная инклюзивность; традиционные знания и практики
Основные движущие силы	Ожидание дальнейшего роста цен на ископаемые ресурсы; меры по смягчению последствий изменения климата (например, Парижское климатическое соглашение)	Достижения в области биологических наук; технологические разработки и коммерческие инновации	Изменение климата (например, Парижское климатическое соглашение); необходимость соблюдения планетарных границ и решения проблем кризиса биоразнообразия и обезлесения; признание роли местных сообществ в устойчивом использовании сельскохозяйственных и лесных экосистем; цель обеспечения инклюзивности и справедливости
Общее обоснование	Замена ресурсов и стимулирование развития в сельских регионах, региональная ресурсная автономия	Достижение экономического роста, повышение международной конкурентоспособности, создание дополнительных рабочих мест	Местные и региональные устойчивые цепочки создания стоимости, ориентированные на конкретные территории; децентрализованные территориальные подходы; альтернативные формы экономики; местное развитие и мелкомасштабное производство

Источник: подготовлено авторами

2.3.2 Перспективы на ближайшее будущее: ресурсозамещение и биотехнологии Темпы инноваций

Неотъемлемой частью концепции биоэкономики является задача и возможность замены ресурсов ископаемого происхождения ресурсами биологического происхождения (перспектива замещения ресурсов). Движущей силой этой концепции стала идея «пика нефти», подразумевающая, что темпы добычи нефти достигли своего пика, а добыча

после достижения пика снизится, в то время как цены на нефть будут постоянно расти (Bardi 2009). Рост цен на нефть усиливает сравнительное преимущество использования биомассы. Кризис цен на нефть

2007/08 года подтвердила представление о «пике добычи нефти». Все более широкое использование продовольственных культур для

биотоплива способствовало резкому росту цен на продовольствие, наблюдавшемуся после нефтяного кризиса. Это развитие событий было вызвано в первую очередь высокими ценами на нефть (Heady and Fan 2008). Политика в области биотоплива, такая как субсидии на биотопливо и обязательные квоты на добавление биотоплива в коммерческий бензин, стала предметом растущей критики, поскольку

исследователи установили, какое влияние они могут оказывать на цены на продовольствие (deGorter et al. 2013). Эти события имели два важных следствия

последствия для биоэкономики: во-первых, потенциальная напряженность между обеспечением доступности продовольствия и использованием биомассы в энергетических целях стало важной темой в публичной политической дискуссии вокруг биоэкономики, как будет подробнее обсуждаться ниже. Во-вторых, все большее внимание уделялось необходимости повышения производительности производства биомассы и разработки вариантов производства и использования биомассы, не вступающих в противоречие с доступностью продовольствия. К таким вариантам относятся технологии второго поколения и использование побочных продуктов и отходов для производства биоэнергии.

Поскольку цены как на энергоносители, так и на продовольствие стали более волатильными по сравнению с 1990-ми годами (Kalkuhl et al. 2016; Baumeister and Kilian 2016), перспектива замещения ресурсов остается важным движущим фактором, особенно для стран с обширными запасами биомассы.

Рисунок 2.2 иллюстрирует концепцию биоэкономики, основанную на замещении ресурсов. Эта диаграмма была разработана Немецким советом по биоэкономике в 2010 году (BÖR 2010). Основными компонентами биоэкономики являются, как показано на рис. 2.2, производство биомассы в различных формах, ее подготовка и преобразование с помощью различных технологий, а также производство и сбыт продуктов питания, кормов, волокон, топлива и товаров категории «fun». Термин «fun» относится к таким продуктам, как цветы.



Рис. 2.2 Перспектива биоэкономики с точки зрения замещения ресурсов

Как показано выше, концепция биоэкономики с самого начала включала в себя перспективу биотехнологических инноваций наряду с перспективой замещения ресурсов. Эта перспектива биотехнологических инноваций относится к применению инновационных инструментов из областей биологии и химии, которые являются ключевыми для использования биотехнологических процессов и создания продуктов биоэкономики в широком спектре секторов экономики, включая химическую промышленность. Соответственно, возможность экономически эффективного использования инноваций в биотехнологии и, в более общем плане, в науках о жизни стала основным обоснованием данной концепции биоэкономики.

Основная цель этой перспективы — повысить конкурентоспособность биотехнологического сектора для более эффективного использования его потенциала. Перспектива биотехнологических инноваций сосредоточена на потенциале биотехнологии сделать процессы в широкой области применения более эффективными и устойчивыми. Ярким примером является использование ферментов в мощных средствах для стирки, которые сокращают выбросы парниковых газов за счет снижения температуры, необходимой для стирки в домашних условиях (Al-Ghanayem and Babu 2020).

Другие примеры включают использование биотехнологии для создания устойчивых альтернатив продуктам на основе ископаемого сырья, разработку биотоплива, повышение урожайности сельскохозяйственных культур и производство экологически чистых химикатов. Цель заключается не только в содействии росту биоиндустрий, но и в позиционировании биотехнологического сектора страны как глобально конкурентоспособного и технологически продвинутого. В этой перспективе биотехнология рассматривается как неотъемлемая часть устойчивых решений в таких областях, как здравоохранение, сельское хозяйство и промышленное производство, и позиционируется как необходимый элемент перехода к низкоуглеродной экономике при одновременном сокращении экологического следа во всех секторах. Раздел «Промышленная биотехнология» в Стратегии политики биоэкономики Германии 2014 года (BMEL 2014, стр. 31 и далее) очень хорошо иллюстрирует эту раннюю перспективу.

2.3.3 Критика ранних концепций

Глобальный рост популярности концепции биоэкономики не обошелся без критики. Эта критика способствовала «экологизации биоэкономики», что привело к появлению ряда подходов, представленных в третьей колонке Таблица 2.1 Можно выделить два основных типа критики, которые можно назвать «фундаментальной критикой» и «критикой зеленого пиара».

2.3.3.1 Фундаментальная критика концепции биоэкономики

Фундаментальная критика биоэкономики сосредоточена не только на ее экологических, но и на социальных последствиях. Примером фундаментальной критики являются работы Бирча и соавторов (Birch 2006; Birch et al. 2010). Они критикуют биоэкономику как «неолиберализацию природы». Авторы анализируют формирующийся дискурс о «биоэкономике, основанной на знаниях», в ЕС и критикуют то, что развитие этой концепции находится под доминирующим влиянием того, что они называют «неолиберальной идеологией». Соответственно, критика концепции биоэкономики связана с более общей критикой «неолиберального режима, в котором рыночные ценности устанавливаются в качестве преобладающей этики в обществе, а рыночные правила навязываются всем аспектам жизни» (Birch 2006, с. 4). С этим видом критики связано утверждение, что концепция продвигается в интересах крупных компаний, заинтересованных в коммерциализации инноваций в области наук о жизни и в применении технологий, вызывающих споры в обществе, таких как генная инженерия и синтетическая биология. Эта точка зрения также включает в себя опасения, что расширение биоэкономики может привести к неравномерному распределению экономических выгод. Хотя это может стимулировать развитие сельской экономики за счет создания новых рынков для биомассы, зачастую доминируют крупные агропромышленные предприятия, что ставит мелких производителей в невыгодное положение и усугубляет экономическое неравенство в определенных регионах

развивающихся стран (Bastos Lima 2021; Backhouse 2021; Backhouse et al. 2022).

Основная критика биоэкономики часто сосредоточена на перспективе замещения ресурсов. Примером служит статья Готтвальда и Будде, опубликованной в 2015 году по случаю Глобального саммита по биоэкономике 2015 года. Эти авторы утверждают, что биоэкономика будет способствовать «захвату земель» и угрожать мировой продовольственной безопасности (Готтвальд и Будде 2015). По сути, этот тип критики основывается на том, что рост спроса на биомассу в ЕС усугубит глобальную конкуренцию за использование земель и давление на экосистемы (Флейшманн и др. 2024). Критики также отмечают, что в результате этого растущего спроса на биомассу цены на сырьевые товары — такие как сельскохозяйственные культуры, используемые для производства продовольствия — могут повыситься, что поставит под угрозу доступность и продовольственную безопасность. Критики также отмечают, что это может непропорционально повлиять на сельские и коренные общины, вызывая этические опасения относительно справедливого распределения выгод и земельных прав (Sarmiento Barletti et al. 2021; Dauvergne and Neville 2010). Эта критика привела к сдвигу в дискурсе в сторону более инклюзивной биоэкономики, призывающей к равноправному участию мелких и местных производителей. Более того, эта критика привела к формулировке цели «продовольствие прежде всего», которая, однако, уже была сформулирована в Коммюнике первого Саммита по биоэкономике 2015 года (IACGB 2015).

Другая версия фундаментальной критики сосредоточена на зависимости биоэкономики от биотехнологических и синтетических инноваций, что рассматривается как форма «технологического решения», не устраняющего лежащие в основе проблемы чрезмерного потребления и отходов (см., например, Lühman и Vogelprohl 2023). Критики также утверждают, что растущее использование биомассы для производства энергии и материалов может оказать дополнительное давление на экосистемы (Muscat et al. 2021; O'Brien et al. 2015). Этот рост рискует превысить биофизические пределы, то есть количество биомассы, которое можно устойчиво собирать, не превышая регенеративную способность земель и экосистем (Erb and Gingrich 2022).

Такого рода фундаментальная критика биоэкономики может быть связана со столкновением между

двумя парадигмами или мировоззрениями в отношении экологической политики. Манн (2018) описал их как парадигмы «волшебника» и «пророка». «Парадигма волшебника» связана с акцентом на технологических инновациях как решении экологических проблем, тогда как «парадигма пророка» утверждает, что экологические проблемы можно решить только путем сокращения потребления с целью соблюдения экологических ограничений.

© Манн (2018) прослеживает эти точки зрения до влиятельных личностей. Волшебник ассоциируется с Норманом Борлаугом, чьи новаторские инновации в селекции сельскохозяйственных культур сделали возможным беспрецедентный рост урожайности. Пророк ассоциируется с Уильямом Vogtom, пионером экологического движения. В своей книге «Путь к выживанию», опубликованной в 1948 году, Vogt предупреждал о последствиях роста населения, увеличения потребления и связанных с этим экологических последствий (Vogt 1948).

Сторонники биоэкономики часто ассоциируются с точкой зрения «волшебника», поскольку они сосредоточены на технологических инновациях, тогда как фундаментальные критики часто представляют точку зрения «пророка», поскольку они предупреждают о возможных негативных последствиях инноваций в области биоэкономики и подчеркивают пределы роста. Как отмечают Барбен и др. (2021), эти две точки зрения не обязательно исключают друг друга, поскольку политика в области биоэкономики может одновременно преследовать цели устойчивых инноваций и сокращения потребления.

2.3.3.2 «Критика «гринвошинга» концепции биоэкономики

Второй тип критики биоэкономики можно интерпретировать как попытку объединить точки зрения «волшебника» и «пророка». Таким образом, эта критика не является принципиально противоположной концепции биоэкономики, а скорее подчеркивает, что биоэкономика не является «автоматически» устойчивой. Следовательно, эта критика предостерегает от использования концепции биоэкономики для «гринвошинга». Одним из ранних примеров такого рода критики является доклад Всемирного фонда

для журнала Nature, опубликованный в 2009 году (WWF 2009) под названием «Промышленная биотехнология — больше, чем зеленое топливо в грязной экономике?». В этом отчете признается потенциал биоэкономики в плане повышения экологической устойчивости современных экономических систем, однако отмечается, что подходы, продвигаемые под лозунгом «биоэкономика», не всегда позволяют реализовать этот потенциал. Суть этой критики заключается в том, чтобы не допустить злоупотребления термином «био» для представления по сути неустойчивой экономической системы как экологически безопасной, а обеспечить, чтобы инновации в области биологических наук действительно использовались для обеспечения перехода к устойчивой экономической системе.

Критики, утверждающие, что биоэкономика не обязательно является устойчивой, также указывают на проблему так называемого «эффекта отскока», который является важным понятием в экологической экономике. Эффект отскока возникает, когда повышение эффективности использования ресурсов, например, при производстве или переработке биомассы это может привести к увеличению общего объема потребления. Механизм, лежащий в основе этого эффекта, заключается в повышении эффективности, что приводит к снижению цены на соответствующий товар и, следовательно, к росту спроса на него. Такая критика высказывалась авторами, которые подчеркивали необходимость сделать биоэкономику циркулярной, поскольку может возникнуть эффект рикошета, например, когда продукты повторного обращения не могут эффективно конкурировать с продуктами первичного производства, что приводит к тому, что потребители покупают больше одноразовых товаров, тем самым увеличивая общее воздействие на окружающую среду (Salvador et al. 2021, стр. 11; Zink and Geyer 2017) (см. также

► раздел 3.3).

Скептицизм и критика, связанные с концепцией биоэкономики сыграли важную роль в стимулировании продуктивной дискуссии и обмена информацией, идеями и ценностями. Это оказало благотворное влияние на развитие парадигмы биоэкономики, о чем будет подробнее сказано в следующем разделе.

© Хотите узнать больше о критике биоэкономики? Посмотрите Дополнительное видео 2.1 — видео из нашего МООС «Концепции устойчивой биоэкономики» (2021).

2.3.4 «Экологизация» биоэкономики

Растущая критика в адрес биоэкономики, заключающаяся в том, что она сама по себе не является устойчивой, способствовала процессу, который выше был описан как «экологизация биоэкономики». Эта эволюция отражает более широкое и зрелое понимание биоэкономики, в котором устойчивость рассматривается как основной принцип, а не как дополнительный элемент, что делает биоэкономику важным участником перехода к циркулярной, климатоустойчивой экономике. Процесс «экологизации биоэкономики» включает в себя ряд различных «зеленых перспектив», в том числе приведение биоэкономики в соответствие с концепциями устойчивости, включение биоэкономики в состав «зеленой» и циркулярной экономики, увязывание биоэкономики с социальным биоразнообразием, а также использование биоэкономики в качестве стратегии экономического и общественного перехода и трансформации. Эти перспективы более подробно описаны ниже.

2.3.4.1 Биоэкономика и устойчивость

Растущая озабоченность обеспечением устойчивости находит отражение в изменении определения биоэкономики с течением времени. В Коммюнике Глобального саммита по биоэкономике 2015 года, озаглавленном «Использование биоэкономики в интересах устойчивого развития», было дано следующее определение:

«Биоэкономика определяется по-разному в разных странах мира. Мы не ставили целью выработку единого определения, но отмечаем, что многие разделяют понимание «биоэкономики как основанного на знаниях производства и использования биологических ресурсов, инновационных биологических процессов и принципов для устойчивого предоставления товаров и услуг во всех секторах экономики» (IACGB 2015, стр. 4, выделено автором).

На Глобальном саммите по биоэкономике 2018 года это определение было расширено в Коммюнике под названием «Инновации в глобальной биоэкономике для устойчивой и инклюзивной трансформации и благополучия» следующим образом:

«Биоэкономика — это производство, использование и сохранение биологических ресурсов,

включая связанные с этим знания, науку, технологии и инновации, с целью предоставления информации, продуктов, процессов и услуг во всех

секторах экономики с целью построения устойчивой экономики (Коммюнике GBS2018 2018, с. 4, выделено автором).

Это глобальное видение концепции биоэкономики со временем эволюционировало и расширилось, как видно из самого последнего определения биоэкономики, приведенного в Коммюнике GBS 2024, которое включает аспекты устойчивости, связанные с социальными особенностями и биоразнообразием, и явно включает понятие экономической трансформации:

«Биоэкономика — это производство, использование, сохранение и восстановление биологических ресурсов, включая связанные с ними знания, науку, технологии и инновации, с целью предоставления устойчивых решений (информации, продуктов, процессов и услуг) в рамках всех секторов экономики и между ними, а также обеспечения перехода к устойчивой экономике. Биоэкономика не является статическим понятием, и ее значение постоянно эволюционирует (Коммюнике GBS 2024, стр. 1, выделено автором).

Ссылка на устойчивость может быть рассмотрена в контексте более широкой общественной цели «устойчивого развития». Эта концепция вошла в повестку дня международной политики еще в 1980-х годах. Комиссия ООН по окружающей среде и развитию определила «устойчивое развитие» в своем докладе «Наше общее будущее» следующим образом:

«Развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, не ставя под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности» (WCED 1987, стр. 41). Комиссия по окружающей среде и развитию также известна как Комиссия Брундтланд, названная в честь ее председателя Гро Харлем Брундтланд, которая в то время была премьер-министром Норвегии и первым политическим лидером, занявшим эту должность после того, как ранее занимала пост министра окружающей среды. Как отмечает Брундтланд, Комиссия ставила целью объединить две основные проблемы, которые появились в международной повестке дня в предыдущие десятилетия, но до сих пор рассматривались скорее независимо друг от друга: озабоченность экологическими проблемами в промышленно

странах, с одной стороны, и проблема бедности и демографического давления в развивающихся странах, с другой (WCED 1987). Определение устойчивого развития отражает цель совместного решения этих двух проблем. Концепция устойчивого развития была вновь подтверждена на «Международной конференции по окружающей среде и развитию» в Рио-де-Жанейро в 1992 году, также известной как Рио-де-Жанейрский саммит Земли. На этой конференции представители более 170 стран приняли крупную глобальную программу действий под названием «Повестка дня на XXI век», которая включала четыре программных направления: социальные и экономические аспекты, сохранение и рациональное использование ресурсов, укрепление позиций основных групп, включая организации гражданского общества, и средства реализации (UN 1992). «Повестка дня на XXI век» продвигала идею о том, что «устойчивое развитие» имеет три измерения: экономическое, социальное и экологическое. Соответственно, принцип, согласно которому биоэкономика должна быть устойчивой, охватывает не только экологическое измерение, но и экономическое и социальное. Концепция устойчивости и ее значение для биоэкономики

экономике более подробно обсуждается в ► гл. 3 этой книги. На конференции «Рио+20» в Рио В 2002 году в Рио-де-Жанейро участники приняли резолюцию под названием «Будущее, которое мы хотим» (ООН, 2012). Международное сообщество также согласовало процесс определения целей в области устойчивого развития в качестве продолжения работы по достижению Целей развития тысячелетия, которые были согласованы в 2000 году и охватывали период до 2015 года (ООН, 2012, с. 46 и далее). В 2015 году ООН приняла набор из 17 «Целей в области устойчивого развития» (ЦУР). Узнайте больше о ЦУР на ► этом веб-сайте.

Как показал обзор Bugge et al. (2016) показал обзор Bugge et al. (2016), согласование биоэкономики с целями устойчивого развития привело к появлению новых аспектов развития биоэкономики, таких как каскадное использование биомассы; оптимизация использования энергии и питательных веществ; сохранение биоразнообразия; а также содействие здоровью почв и агроэкологическим практикам. Необходимость обеспечения устойчивости биоэкономики также потребовала перехода от биооснованных цепочек создания стоимости к сетям создания стоимости, которые создаются за счет каскадного использования биоматериалов (Scheiterle et al. 2018).

Для обеспечения устойчивой биоэкономики также возросла значимость оценок жизненного цикла (см., например, Sinkko et al. 2023 и ► гл. 41).

Поскольку ЦУР включают социальные цели, приведение биоэкономики с принципами устойчивого развития также привело к акценту на экологической справедливости, участии заинтересованных сторон и уважении экологических ограничений, чтобы гарантировать

чтобы рост в биоотраслях не приводил к социальному неравенству (см., например, van der Veem et al. 2024).

Биоэкономика также стала играть центральную роль, особенно в крупных инициативах в области устойчивого развития, например, в таких политических рамках, как «Зеленый курс» ЕС.

Вставка 2.1: «Зеленый курс» ЕС и биоэкономика

«Зеленый курс» ЕС — это амбициозная инициатива, направленная на преобразование ЕС в климатически нейтральную и ресурсоэффективную экономику к 2050 году. Она была сформулирована в виде сообщения Европейской комиссии в 2019 году (ЕС 2019b) и одобрена Европейским парламентом в начале 2020 года. Она легла в основу ряда политических инициатив в различных секторах, включая стратегию «От фермы до стола» для сельскохозяйственного и пищевого секторов (ЕС 2019a). Биоэкономика играет решающую роль в поддержке этой концепции, способствуя переходу от ископаемых ресурсов к возобновляемым ресурсам биологического происхождения. Этот переход

необходим в рамках «Зеленого курса», поскольку он соответствует его целям по сокращению выбросов углерода, сохранению экосистем и содействию устойчивому развитию. Благодаря финансовой поддержке, политическим ориентирам и регуляторным стимулам, заложенным в «Зеленом курсе», развитие биоэкономики становится приоритетом как важнейший путь к достижению устойчивой, климатически нейтральной Европы. «Зеленый курс» ЕС позиционирует биоэкономику как способ достижения климатических целей путем снижения зависимости от ископаемых ресурсов и усиления улавливания углерода, особенно посредством практик в сельском хозяйстве, лесоводстве и энергетике.

Перспектива устойчивого развития также способствовала смещению акцента с предложения в биоэкономике на спрос, то есть переходу от технологических инноваций и компаний, которые их коммерциализируют, к потребителям и обществу в целом. Эта тенденция прослеживается, например, в недавнем Отчете о ходе работы по биоэкономике Европейской комиссии (ЕК), в котором подчеркивается, что «модели потребления должны стать более устойчивыми для обеспечения экологической целостности, поскольку одни только технологические решения не способны преодолеть разрыв между устойчивым предложением биологических ресурсов и спросом» (ЕК, 2022).

2.3.4.2 Биоэкономика и «зеленая» экономика

В упомянутой выше резолюции ООН «Мир, который мы хотим» (ООН 2012) было подчеркнуто, что концепция «зеленой экономики» является «одним из важных инструментов, доступных для достижения устойчивого развития» (ООН 2012, стр. 10). Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) определила зеленую экономику

» как такую, которая приводит к улучшению благосостояния людей и социальной справедливости, при этом значительно сокращая экологические риски и дефицит природных ресурсов [...] В самом простом выражении «зеленую экономику» можно рассматривать как экономику с низким уровнем выбросов углерода, эффективную с точки зрения использования ресурсов и социально инклюзивную (ЮНЕП 2011, стр. 16).

Вставка 2.2: Низкоуглеродная экономика

Низкоуглеродная экономика ориентирована, в частности, на сокращение выбросов углерода для борьбы с изменением климата. Этот подход ставит во главу угла энергоэффективность, возобновляемые источники энергии (такие как ветровая, солнечная и биоэнергия) и инновации, позволяющие сократить выбросы углерода в таких секторах, как транспорт, промышленность и энергетика. Основная цель заключается в снижении выбросов парниковых газов при одновременном поддержании экономического роста (Sengupta et al. 2019).

В научной литературе концепция «зеленой экономики» имеет долгую историю (см. обзор Loiseau et al. 2016).

2

Цели «зеленой экономики» заключаются в сохранении биоразнообразия, сокращении загрязнения, ответственном обращении с отходами и обеспечении устойчивого использования природных ресурсов. Она включает в себя принципы социальной справедливости, отстаивая экономический рост, который приносит пользу всем слоям общества и сводит к минимуму ухудшение состояния окружающей среды в целом (Bailey and Caprotti 2014).

Возникает вопрос о том, как концепция биоэкономики связана с концепцией «зеленой» экономики. В конечном счете, это вопрос определения. Один из вариантов заключается в том, чтобы рассматривать биоэкономику как неотъемлемый компонент «зеленой» экономики. Согласно этой точке зрения, возобновляемые источники энергии, не зависящие от биологических ресурсов, такие как энергия ветра и солнца, можно считать частью «зеленой» экономики, но не частью биоэкономики. Рисунок 2.3 ниже иллюстрирует эту концептуализацию.

2.3.4.3 Биоэкономика и циркулярная экономика

Наряду с концепцией «зеленой экономики» в последние годы на первый план вышла еще одна концепция: концепция «циркулярной экономики». В упомянутом выше Коммюнике Глобального саммита по биоэкономике 2015 года подчеркивалась необходимость согласования принципов устойчивой биоэкономики с принципами циркулярной экономики, что «потребуется системных подходов, охватывающих различные сектора (т. е. концепции взаимосвязанности), в частности мер инновационной политики, направленных на оптимизацию сетей создания стоимости в биоэкономике и минимизацию отходов и потерь» (Bioeconomy Summit 2015, стр. 5). К 2024 году концепция циркулярности приобрела еще большее значение. В Коммюнике ГСБ-2024 часто упоминается концепция циркулярности, как, например, в следующем заявлении: «За последние 10–15 лет биоэкономика действительно превратилась из ориентированной на исследования области экспертов в межотраслевую

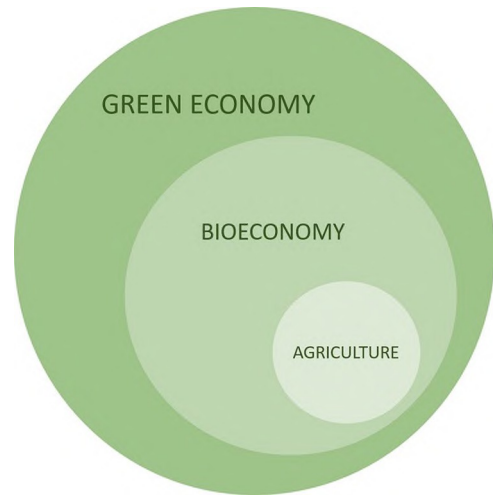


Рис. 2.3 Биоэкономика как компонент «зеленой» экономики

секторальной и инклюзивной модели циркулярной и устойчивой экономики» (GBS 2024, стр. 5, выделено автором).

Эта концепция циркулярной экономики была популяризирована в классическом учебнике по экологической экономике, написанном Дэвидом Пирсом и Керри Тернером в 1989 году (Pearce and Turner 1989). Эти авторы прослеживают ее истоки в знаковой статье Кеннета Боулдинга, опубликованной в 1966 году, в которой Боулдинг подчеркивал необходимость управлять экономикой не как открытой системой, а как «космическим кораблем», где «человек должен найти свое место в циклической экологической системе, способной к непрерывному воспроизводству материальной формы» (Boulding 1966, с. 112). Как показывает обзор Ghisellini et al. (2016), концепция циркулярной экономики в основном ассоциировалась с внедрением моделей производства с замкнутым циклом в рамках экономической системы, а также с целями повышения эффективности использования ресурсов, уделяя особое внимание городским и промышленным отходам (Ghisellini et al. 2016, с. 11). Таким образом, концепция циркулярной экономики имеет более узкую сферу применения, чем концепция «зеленой» экономики и биоэкономики. Однако требование увязать биоэкономику с принципами циркулярной экономики может сыграть важную роль в обеспечении того, чтобы биоэкономика действительно была устойчивой (см. ▶ гл. 3). Более того, акцент на возобновляемых ресурсах и биотехнологических инновациях, которые являются центральными элементами биоэкономики,

может сыграть важную роль в реализации принципов циркулярной экономики.

Усиление акцента на увязке концепции биоэкономики с концепцией циркулярности прослеживается в растущем использовании термина «циркулярная биоэкономика». Этот термин, например, использовался Европейской комиссией для подчеркивания важности принципов циркулярности в биопроцессах. В ЕС включение принципов циркулярности в биоэкономику также ознаменовалось переходом от Совместного предприятия «Биопромышленность» (BVI JU) к Совместному предприятию «Циркулярная биоэкономика Европы» (CBE JU).

Экскурс 2.3: Совместное предприятие по биопромышленности (BVI JU)

Совместное предприятие по биооснованным отраслям (BVI JU) представляло собой государственно-частное партнерство между Европейским союзом и Консорциумом биооснованных отраслей (BIC), инициированное в рамках Стратегии биоэкономики ЕС в 2012 году. Запущенное в 2014 году, BVI JU было частью программы ЕС по исследованиям и инновациям «Горизонт 2020». Его целью было ускорение разработки устойчивых и инновационных биопродуктов и материалов путем финансирования проектов.

Совместное предприятие «Циркулярная биоэкономика Европы» (CBE JU) является преемником BVI JU и было создано в рамках программы ЕС «Горизонт Европа» (2021–2027 гг.). CBE JU стремится развивать фундамент BVI JU, но с расширенной концепцией, включающей принципы циркулярной экономики. Этот усиленный акцент на внедрении принципов циркулярной экономики в европейскую биоотрасль согласуется с целями ЕС в области устойчивого развития и климата (например, «Зеленый курс ЕС») и подчеркивает необходимость замкнуть циклы ресурсов и минимизировать отходы во всех секторах экономики.

Вставка 2.4: Совместное предприятие «Циркулярная биооснованная Европа» (CBE JU)

Совместное предприятие «Циркулярная биооснованная Европа» (CBE JU) представляет собой государственно-частное партнерство с бюджетом в 2 млрд евро между Европейским союзом и Консорциумом биооснованных отраслей (BIC), направленное на развитие конкурентоспособных циркулярных биооснованных отраслей в Европе. Миссия CBE JU заключается в объединении усилий широкого спектра заинтересованных сторон — от сельскохозяйственных производителей до научных исследователей — для решения технологических, нормативных и рыночных задач сектора. Благодаря своей модели совместного финансирования CBE JU укрепляет инновационный потенциал, ускоряет интеграцию биорешений в рынок и прокладывает пути для будущих инвестиций и развития европейской биоэкономики.

Концепция циркулярности и ее значение для биоэкономики более подробно обсуждаются в

▶ главе 3 данной книги.

2.3.4.4 Биоэкономика и социальное биоразнообразие

В последние годы кризис биоразнообразия стал, наряду с климатическим кризисом, движущей силой развития биоэкономики. Глобальная озабоченность по поводу утраты биоразнообразия имеет долгую историю и послужила стимулом для разработки Конвенции о биологическом разнообразии, которую подписали 150 глав государств на упомянутом выше Рио-де-Жанейрском саммите по окружающей среде. Рамочная конвенция об изменении климата была подписана в том же случае, но в то время как изменение климата было ранним движущим фактором биоэкономики, сохранение биоразнообразия стало более заметным только в последние годы (IACGB 2024; Bastos Lima and Palme 2022).

Как отмечалось выше, именно развитие биоэкономики в регионе Латинской Америки позволило выявить уникальный потенциал биоэкономики в плане сохран

сохранению биоразнообразия. Эта «низовая» перспектива уходит корнями в лесные регионы Латинской Америки. Важно отметить, что эта перспектива

2

объединяет взаимосвязь между двумя основными элементами: биологическим разнообразием и социокультурным

культурное разнообразие. Термин «социально-биоразнообразие» был введен для отражения этой связи, которая затем была связана с биоэкономикой, что привело к появлению концепции «биоэкономики социально-биоразнообразия» (Costa et al. 2020; Ribeiro et al. 2020; Saes et al. 2023). Эта перспектива актуальна и для других регионов мира, в которых имеются значительные лесные территории, где использование местных ресурсов биоразнообразия (например, недревесных лесных продуктов) взаимосвязано с культурной идентичностью и возможностями обеспечения средств к существованию на местном уровне. Как уже отмечалось выше, различные стратегии биоэкономической политики стран Латинской Америки и Карибского бассейна делают акцент на сохранении биоразнообразия посредством его рационального использования и потенциала для развития инклюзивных местных цепочек создания добавленной стоимости, как это предусмотрено в национальных стратегиях биоэкономики Колумбии, Бразилии и Коста-Рики. Эта перспектива делает акцент на региональных решениях, участии местных сообществ, развитии справедливых и инклюзивных вариантов жизнеобеспечения, продвижении агролесоводства и диверсификации сельского хозяйства на основе биоразнообразия, например, путем продвижения малораспространенных, новых и местных культур (Ollinaho and Kröger 2023). Эта перспектива

также подчеркивает роль традиционных знаний и культурной идентичности в лесных районах, вплоть до рассмотрения других форм экономических отношений и систем ценностей, выходящих за рамки утилитарных отношений с природой. Таким образом, эта перспектива отличается от других подходов к биоэкономике и отвечает на фундаментальную критику биоэкономики, описанную

в ▶ разделе 2.3.3 выше (Bastos Lima и Palme 2022; de Queiroz-Stein и Siegel 2023;

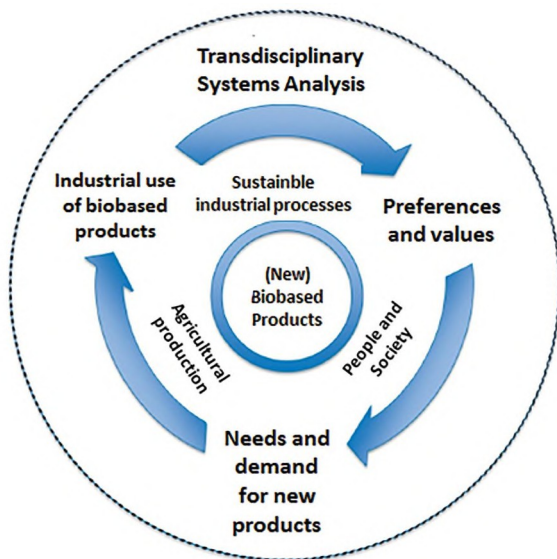
de Queiroz-Stein et al. 2023; Ollinaho и Kröger 2023). Связи между биоэкономикой и биоразнообразием более подробно обсуждаются в

▶ главе 40 этой книги.

2.3.4.5 Биоэкономика как стратегия перехода и трансформации

Как видно из приведенных выше определений, развитие концепции биоэкономики изначально характеризовалось акцентом на «стороне предложения» биоэкономики, то есть на предложении товаров и услуг, основанных на биологических ресурсах и биотехнологических процессах. В последние годы все больше внимания уделяется стороне спроса биоэкономики и, в более общем плане, роли биоэкономики в обществе (см. ▶ гл. 36).

Рис. 2.4 представляет собой более целостное представление о биоэкономике, в котором люди — в качестве потребителей и граждан



○ Рис. 2.4 Целостная концепция биоэкономики

учет. Эта диаграмма была разработана командой из Университета Хоэнхайма в качестве основы для магистерской программы «Биоэкономика», запущенной в 2014 году.

Как показано на диаграмме, предпочтения и ценности людей, которые выражаются в потребностях и спросе на (новые) биопродукты, столь же важны для биоэкономики, как и производство этих продуктов. Такой целостный взгляд на биоэкономику требует трансдисциплинарного

системного анализа. Вопрос трансдисциплинарности рассматривается в главах 3 и 37 этой книги. Если пойти еще дальше в рассмотрении социальной встроенности, биоэкономику можно также рассматривать как важный элемент процесса экономической и социальной трансформации или перехода, необходимого для преобразования нынешней экономической системы в систему, устойчивую с экономической, экологической и социальной точек зрения.

Экскурс 2.5: Переход к биоэкономике против трансформации биоэкономики

Развитие устойчивой биоэкономики требует далеко идущих изменений в современной экономике и обществе. Хотя в контексте биоэкономики эти термины часто используются как взаимозаменяемые (например, Urmetzer et al. 2020), «переход» и «трансформация» — это два понятия, описывающие разные типы изменений (Hölscher et al. 2018):

- Переход означает постепенный процесс перехода от одного состояния или условия к другому, обычно в рамках знакомой структуры или системы. Он предполагает постепенные корректировки, а не полную перестройку. Процессы перехода касаются того, как происходят изменения, в частности, предполагая пошаговый подход.
- Трансформация подразумевает глубокие и коренное изменение, приводящее к появлению новой формы, структуры или идентичности. Она часто носит системный и необратимый характер, требуя глубоких изменений на нескольких уровнях. Термин «трансформация» также часто используется в нормативных заявлениях, обозначая то, что должно быть изменено.

Биоэкономика воплощает в себе как аспекты перехода, так и трансформации: развитие биоэкономики в конечном итоге требует трансформационного подхода к различным секторам, включая энергетику, сельское хозяйство и промышленность. Она также требует трансформационного подхода к потреблению. Это связано с тем, что биоэкономика переопределяет основные ресурсы, лежащие в основе современных экономик, перенося акцент с исчерпаемых ресурсов на возобновляемые,

биоресурсы. Этот процесс заключается не просто в замене материалов. С точки зрения биотехнологических инноваций он также требует интегрированных инновационных технологий, таких как биоперерабатывающие заводы и синтетическая биология. Биоэкономика также требует изменений в политике, общественных ценностях и моделях потребления, поскольку она требует переосмысления взаимоотношений между человеческой деятельностью и природой. Как отмечают Барбен и др. (2021), биоэкономика вряд ли будет развиваться сама по себе; она требует политической воли для реализации мер, способных изменить правила игры, и создания благоприятных условий для своего развития, особенно с учетом того, что существующие рамочные условия политики часто поддерживают отрасли, опирающиеся на ископаемые ресурсы. Однако, в частности, ранний этап развития биоэкономики включает в себя переходные элементы, такие как внедрение биотоплива в качестве переходной технологии для отказа экономики от ископаемого топлива или использование цифровых инструментов для внедрения устойчивой интенсификации сельскохозяйственных практик. Более того, трансформация биоэкономики требует постепенных переходных изменений, поскольку радикальные изменения трудно осуществить в демократических системах, так как сложно заручиться необходимой для них политической поддержкой. По сути, переход к биоэкономике и ее трансформация — это два взаимосвязанных аспекта процесса изменений, которые во многом взаимосвязаны и часто перетекают друг в друга. Поэтому взаимозаменяемое использование этих двух терминов вполне

2.4 Заключение

Как показано в этой главе, биоэкономика включает в себя многогранный набор концепций и подходов, которые постоянно развивались с течением времени, отчасти в ответ на критику. Несмотря на свое разнообразие и эволюционный характер, биоэкономика стала концепцией, актуальной во всем мире, продемонстрировав уникальную способность интегрировать различные точки зрения. Это впечатляюще демонстрируют Глобальные саммиты по биоэкономике, которые стали форумом, на котором мировое сообщество разработало общее видение биоэкономики, признающее разнообразие и поддерживающее различные на местном уровне цели и сильные стороны (IACGB 2024).

? Вопросы

1. Как определяется биоэкономика и как эта концепция развивалась с течением времени?
2. Чем характеризуется, с одной стороны, подход к биоэкономике с точки зрения замещения ресурсов, а с другой — подход с точки зрения биотехнологических инноваций?
3. Какие виды критики высказывались в адрес концепции биоэкономики?
4. Каковы связи между концепцией биоэкономики и концепциями устойчивого развития, «зеленой» экономики, циркулярной экономики, социального биоразнообразия, а также перехода и трансформации?

7 Ответы

1. Биоэкономика была определена Глобальным саммитом по биоэкономике 2024 года как «производство, использование, сохранение и восстановление биологических ресурсов, включая связанные с ними знания, науку, технологии и инновации, с целью предоставления устойчивых решений (информации, продуктов, процессов и услуг) в рамках всех секторов экономики и между ними, а также обеспечения перехода к устойчивой экономике». Концепция биоэкономики, основанной на знаниях, впервые была продвинута в Европейском союзе в начале

начале 2000-х годов. С тех пор она превратилась в глобальную концепцию, поскольку все большее число стран во всех регионах мира принимало специальные или связанные с биоэкономикой политики и стратегии.

2. Перспектива биоэкономики, основанная на замещении ресурсов, сосредоточена на замене ископаемых ресурсов биоресурсами, особенно в виде биоэнергии и биоматериалов. Изначально эта перспектива была продиктована опасениями по поводу ограниченности ресурсов («пик нефти»), а впоследствии — целью сокращения выбросов парниковых газов. Перспектива биотехнологических инноваций сосредоточена на применении биотехнологических инноваций в процессах промышленного и сельскохозяйственного производства. Эта перспектива была продиктована целью использования достижений в области биологических и биологических наук.
3. Можно выделить два типа критики концепции биоэкономики: фундаментальная критика и критика «гринвошинга». Фундаментальная критика рассматривает биоэкономику как «неолиберализацию природы» и утверждает, что природа не должна подчиняться рыночным механизмам. Опасения по поводу конкуренции между продовольственной безопасностью и использованием биомассы для производства биоэнергии и биоматериалов также привели к фундаментальной критике биоэкономики. Критика «гринвошинга» признает потенциал биоэкономики в плане вклада в устойчивую экономику, но подчеркивает, что решения в области биоэкономики не обязательно являются устойчивыми, например, из-за эффектов отскока. Следовательно, согласно этой критике, важно обеспечить, чтобы биоэкономика не использовалась не по назначению для «гринвошинга» неустойчивой системы.
4. Биоэкономика все чаще признается в качестве стратегии, способствующей устойчивому развитию и достижению целей в области устойчивого развития (ЦУР). Ее можно рассматривать как компонент «зеленой» экономики, которая определяется как низкоуглеродная, ресурсоэффективная и социально инклюзивная экономика.

Биоэкономика может быть частью циркулярной экономики, особенно если поощряется каскадное использование биомассы и если для этой цели разрабатываются биооснованные цепочки создания стоимости. Социально-биоразнообразная перспектива биоэкономики сосредоточена на сохранении и рациональном использовании биоразнообразия, например, путем продвижения малораспространенных, новых и местных культур, а также путем поощрения участия местных сообществ при уважении их традиционных знаний и социокультурных традиций. Концепция перехода относится к постепенному изменению в сторону более устойчивой экономики и общества, тогда как концепция трансформации сосредоточена на глубоких и фундаментальных изменениях. Биоэкономика может способствовать реализации обоих типов процессов.

Ссылки

- Аль-Ганайем А. А., Джозеф Б. (2020) Современные перспективы использования холодоактивных ферментов в качестве экологически безопасных добавок к моющим средствам. *Appl Microbiol Biotechnol* 104(7):2871–2882. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10429-x>
- Арамендис Р. Х., Родригес А. Г., Кригер Мерико Л. Ф. (2018) Вклад в мощный экологический импульс в Латинской Америке и Карибском бассейне: биоэкономика. Документы по проектам. Экономическая комиссия для Латинской Америки и Карибского бассейна (ЭКЛАК). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bit-streams/a5bb120f-925a-4d8d-bcf4-68883a44d6b0/content>. Просмотрено 16 декабря 2025 г.
- Бэкхаус М. (2021) Глобальное неравенство и добыча знаний в биоэкономике. В: Бэкхаус М. и др. (ред.) *Биоэкономика и глобальное неравенство*. Palgrave Macmillan, Шам. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68944-5_2
- Бэкхаус М., Люманн М., Титтор А. (2022) Глобальное неравенство в биоэкономике: размышления о преемственности и изменениях в контексте глобального соевого комплекса. *Sustainability* 14(9):5481. <https://doi.org/10.3390/su14095481>
- Бейли И., Капротти Ф. (2014) Зеленая экономика: функциональные области и теоретические направления исследования. *Area* 46(8):211–219. <https://doi.org/10.1068/a130102p>
- Барбен Д., Бирнер Р., Цинке Х. (2021) Устойчивая биоэкономика и социальная трансформация: манифест из десяти тезисов. *GAIA - Ecol Perspect Sci Soc* 30(1):12–17. <https://doi.org/10.14512/gaia.30.1.4>
- Барди У. (2009) Пик нефти: четыре этапа новой идеи. *Energy* 34(3):323–326. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.08.015>
- Бастос Лима М.Г. (2021) Корпоративная власть в переходе к биоэкономике: политика и политические аспекты консервативной экологической модернизации в Бразилии. *Sustainability* 13(12):6952. <https://doi.org/10.3390/su13126952>
- Бастос Лима М.Г., Пальме У. (2022) Взаимосвязь биоэкономики и биоразнообразия: укрепление или подрыв вклада природы в жизнь людей? *Conservation* 2(1):7–25. <https://doi.org/10.3390/conservation2010002>
- Баумейстер К., Килян Л. (2016) Сорок лет колебаний цен на нефть: почему цена на нефть все еще может нас удивить. *J Econ Perspect* 30(1):139–160. <https://doi.org/10.1257/jep.30.1.139>
- Саммит по биоэкономике (2015) Коммюнике Глобального саммита по биоэкономике 2015: использование биоэкономики в целях устойчивого развития, Берлин
- Берч К. (2006) Неолиберальные основы биоэкономики: идеологические дискурсы и практики экономической конкурентоспособности. *Genom Soc Policy* 2(3):1–15. <https://doi.org/10.1108/00242530610667558>
- Бирч К., Левидов Л., Папайоанну Т. (2010) Устойчивое капитал? Неолиберализация природы и знаний в европейской «биоэкономике, основанной на знаниях». *Sustainability* 2(9):2898–2918. <https://doi.org/10.3390/su2092898>
- ВМБФ (2010) Национальная исследовательская стратегия «Биоэкономика 2030» — наш путь к биоэкономике. Федеральное министерство образования и науки (ВМБФ), Берлин
- ВМБФ (2014) Путеводитель по биоэкономике. Федеральное министерство образования и науки (ВМБФ). Федеральное министерство образования и науки, Берлин
- ВМБФ (2020) Национальная стратегия биоэкономики. Федеральное министерство образования и науки (ВМБФ). Федеральное министерство образования и науки, Берлин
- ВМEL (2014) Национальная стратегия в области биоэкономики — возобновляемые ресурсы и биотехнологические процессы как основа пищевой промышленности и энергетики: Федеральное министерство продовольствия и сельского хозяйства Германии (ВМEL), Берлин
- Bonaiuti M (2014) *Биоэкономика*. В: D'Alisa G, Dematia F, Kallis G (ред.) *Дерост: словарь для новой эры*. Routledge Taylor & Francis Group, Абингдон, Оксфордшир, стр. 52–55
- BÖR (2010) Отчет Совета по биоэкономике за 2010 год: инновации в биоэкономике. Немецкий совет по биоэкономике (Bioökonomierat — BÖR), Берлин
- BÖR (2015a) *Политика в области биоэкономики (Часть II) — Обзор национальных стратегий по всему миру*. Немецкий совет по биоэкономике (Bioökonomierat — BÖR), Берлин

- BÖR (2015b) Отчет о глобальном саммите по биоэкономике — за глобальную устойчивую биоэкономику. Немецкий совет по биоэкономике (Bioökonomierat - BÖR), Берлин
- Boulding KE (1966) Экономика грядущего космического корабля Земля — качество окружающей среды в растущей экономике. В: Jarrett H (ред.) Очерки шестого форума «Ресурсы для будущего» по качеству окружающей среды в растущей экономике. Издательство Университета Джонса Хопкинса, Балтимор, с. 3–14
- Бугге М. М., Хансен Т., Клиткоу А. (2016) Что такое биоэкономика? Обзор литературы. *Sustainability* 8(7):691. <https://doi.org/10.3390/su8070691>
- Коста Ф.А., Сиаска Б.С., Кастро Э.К.К., Баррейрос Р.М.М., Фолеш Р., Бергамини Л.Л., Собрино А.С., Круз А., Коста А., Симоэс Ж., Алмейда Ж., Соуза Х.М. (2020) Биоэкономика в штате Пара. *Ocio-Biodiversity*. <https://doi.org/10.18235/0003713>
- Dauvergne P, Neville KJ (2010) Леса, продовольствие и топливо в тропиках: неравномерные социальные и экологические последствия формирующейся политической экономики биотоплива. *J Peasant Stud* 37(3):631–660. <https://doi.org/10.1080/03066150.2010.512451>
- de Gorter H, Drabik D, Just DR (2013) Как политика в области биотоплива влияет на уровень цен на зерно и масличные культуры: теоретические модели и данные. *Glob Food Sec* 2 (2):82–88
- de Queiroz-Stein G, Siegel KM (2023) Возможности для интеграции биоразнообразия? Две точки зрения на концепцию биоэкономики. *Earth Syst Go* 17:100181. <https://doi.org/10.1016/j.esg.2023.100181>
- де Кейроз-Штайн Г., Мартинелли Ф.С., Дитц Т., Сигел К.М. (2023) Споры о связи между биоэкономикой и биоразнообразием в Бразилии: коалиции, дискурсы и политика. *For Policy* 2023:103101. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103101>
- Долге К., Балодэ Л., Лактука К., Кирсанов В., Бариса А., Кубуле А. (2023) Сравнительный анализ развития биоэкономики в странах Европейского союза. *Environ Manag* 71(2):215–233 <https://doi.org/10.1007/s00267-022-01751-3>
- ЕАС (2022) Региональная стратегия биоэкономики ЕАС. Состояние биоэкономики в Восточной Африке. https://easteco.org/policy_strategy/eac-regional-bioecon-omy-strategy/. Просмотрено 16 декабря 2025 г.
- ЕК (2005) Новые перспективы биоэкономики, основанной на знаниях — отчет о конференции. Европейская комиссия (ЕК), Брюссель
- Европейская комиссия (2012) Стратегия в области биоэкономики «Инновации для устойчивого роста — биоэкономика для Европы». <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1f0d8515-8dc0-4435-ba53-9570e47dbd51>
- Европейская комиссия (2013) «Горизонт 2020» — Рамочная программа ЕС по исследованиям и инновациям. Европейская комиссия, Брюссель
- ЕК (2018a) Сообщение COM/2018/673: «Устойчивая биоэкономика для Европы: укрепление связи между экономикой, обществом и окружающей средой». https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/sustainable-bioeconomyeurop-estrenghening-connection-between-economy-soci-ety_en. Просмотрено 16 декабря 2025 г.
- ЕК (2018b) Европейский подход к использованию наших природных ресурсов: план действий. ec.europa.eu/publication/bioeconomy-european-way-use-our-natural-resources-action-plan-2018_en. Проверено 16 декабря 2025 г.
- ЕК (2021) «Горизонт Европа», программа ЕС по исследованиям и инновациям (2021–2027 гг.): за зеленую, здоровую, цифровую и инклюзивную Европу. Генеральный директорат ЕС по исследованиям и инновациям, Европейская комиссия, Брюссель. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/601756>
- ЕК (2022) Доклад Комиссии Европейскому парламенту, Совету, Европейскому экономическому и социальному комитету и Комитету регионов: Отчет о ходе реализации Стратегии ЕС в области биоэкономики — Европейская политика в области биоэкономики: подведение итогов и будущие направления развития. COM/2022/283 final. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/1_en_act_part1_v4.pdf. Просмотрено 16 декабря 2025 г.
- ЕК (2024) Сообщение Комиссии «Европейский зеленый курс» Европейскому парламенту, Совету, Европейскому экономическому и социальному комитету и Комитету регионов, «Строим будущее вместе с природой: стимулирование биотехнологий и биопроизводства в ЕС», COM/2024/137. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52024DC0137>. Просмотрено 16 декабря 2025 г.
- Энрикес Дж. (1998) Геномика и мировая экономика. *Science* 281(5379):925–926. <https://doi.org/10.1126/science.281.5379.92>
- Энрикес Дж. (2002) Биотехника (1.0): приблизительная схема потока биологических данных. Отдел исследований, Рабочий документ Гарвардской школы бизнеса № 03–028, август 2002
- Эрб К.-Х., Гингрич С. (2022) Биомасса — критические пределы жизненно важного ресурса. *One Earth* 5(1):7–9. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.12.014>
- ЕС (2000) Лиссабонский Европейский совет 23 и 24 марта 2000 г. — Заключение председательства Совета Европейского союза, Лиссабон. Доступно по адресу: http://www.consilium.europa.eu/en/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/00100-r1.en0.htm. Просмотрено 15 июля 2017 г.
- ЕС (2007) На пути к биоэкономике, основанной на знаниях («Кельнский документ») Немецкое председательство в Совете Европейского союза (ЕС), Кельн
- Молодежные послы ЕС по биоэкономике (2024) «Видение молодежи в области биоэкономики». Европейский портал для молодежи. Бартманн Р., Бертаччи С., Бифоне М., Чантар Х., Когли Д., Дирдайте У., Эскорсио Р., Йёги К., Лазар Дж., Мрозински О., Нахтергаэле П., Шаберт П., Сциоти К., Верл К., Зайцева Д. Европейский союз. https://youth.europa.eu/get-involved/sustainable-development/whats-youth-vision-bioeconomy_en. Просмотрено 16 декабря 2025 г.
- Европейская комиссия (2019a) Сообщение Комиссии «Европейский зеленый курс». <https://>

- eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN. Проверено 16 декабря 2025 г.
- Европейская комиссия (2019b) Сообщение Комиссии Европейскому парламенту, Европейскому совету, Совету, Европейскому экономическому и социальному комитету и Комитету регионов: «Европейский зеленый курс». <https://www.kowi.de/Portaldata/2/Resources/fp/2019-com-european-green-deal-communication.pdf>. Проверено 16 декабря 2025 г.
- Европейская комиссия (ЕК) 2025. COM (2025) 960 final. Сообщение Комиссии Европейскому парламенту, Совету, Европейскому экономическому и социальному комитету и Комитету регионов. Стратегические рамки для конкурентоспособной и устойчивой биоэкономики ЕС. Брюссель, 27.11.2025 https://environment.ec.europa.eu/publications/bioeconomy-strategy_en (по состоянию на 3.12.2025)
- Эверсберг Д., Хольц Дж., Пунгас Л. (2023) Биоэкономика и ее несостоятельные обещания роста: проверка реальности на основе исследований. *Sustain Sci* 18(2):569–582. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01237-5>
- ФАО (2024) Биоэкономика для устойчивого продовольствия и сельского хозяйства: глобальная возможность. Документ с изложением позиции. ФАО, Рим, Италия. ISBN 978-92-5-139032-0
- Флейшманн Б. М., Майер А., Гёрг К., Пихлер М. (2024) Преодоление биофизических ограничений в биоэкономике Европейского союза: критический анализ двух конфликтов по поводу регулирования использования биомассы в политике ЕС. *Sustain Sci* 19(6):1935–1948. <https://doi.org/10.1007/s11625-024-01543-0>
- Гавель Э., Паннике Н., Хагеманн Н. (2019) Путь перехода к биоэкономике — решающая роль устойчивости. *Sustainability* 11(11):3005. <https://doi.org/10.3390/su11113005>
- Коммюнике GBS (2018) Коммюнике: Международный форум по биоэкономике 2018. Доступно по адресу: <https://www.biooekonomierat.de/media/pdf/archiv/inter-national-gbs-2018-communique.pdf>. Просмотрено 16 декабря 2025 г.
- Коммюнике GBS (2024) Коммюнике: Международный консультативный совет Глобального саммита по биоэкономике 2024. Доступно по адресу: <https://gbs2024.org/wp-content/uploads/2024/10/IACGB-Communique-24October2024.pdf>. Просмотрено 16 декабря 2025 г.
- GBS24 (2024) Глобальный саммит по биоэкономике. <https://gbs2024.org/>. Просмотрено 11 января 2024 г.
- Geoghegan-Quinn M (2013) Роль исследований и инноваций в сельском хозяйстве. Выступление в Европейском парламенте 4 июня 2013 г., Брюссель
- Ghisellini P, Cialani C, Ulgiati S (2016) Обзор по циркулярной экономике: ожидаемый переход к сбалансированному взаимодействию экологических и экономических систем. *J Clean Prod* 114:11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Глатцель К., Вирхов Д., Накитто А.М.С., Нийонсенга С., Бабу С., Сривастава Н., Кашандула П. (2024) Пути развития биоэкономики: опыт Африки, Азии и Латинской Америки. Глава 9. В: Тадессе Г., Глатцель К., Савадого М. (ред.) Ежегодный отчет ReSAKSS о тенденциях и перспективах за 2024 год, «Продвижение повестки дня в области климата и биоэкономики в Африке для создания устойчивых и жизнеспособных агропродовольственных систем». AKADEMIYA 2063 и Международный институт исследований продовольственной политики . <https://doi.org/10.54067/9798991636902>
- Глик Дж. Л. (1982) Промышленное воздействие биологической революции. *Technol Soc* 4(4):283–293. [https://doi.org/10.1016/0160-791X\(82\)90005-7](https://doi.org/10.1016/0160-791X(82)90005-7)
- Готтвальд Ф.-Т., Будде Дж. (2015) Накормить мир с помощью биоэкономики? Институт мирового продовольствия – World Food Institute e.V., Берлин
- Готтвальд Ф.-Т. (2016) Биоэкономика — вызов целостности. В: Вестра Л., Грей Дж., Д'Алоя А. (ред.) Общее благо и экологическая целостность: права человека и поддержка жизни. Earthscan/Routledge, Лондон/Нью-Йорк, с. 22–35
- Хаускнофт Д., Шриффл Э., Лаук К., Кальт Г. (2017) Переход к какой биоэкономике? Исследование расходящихся технополитических выборов. *Sustainability* 9(4):669. <https://doi.org/10.3390/su9040669>
- Хиди Д., Фан С. (2008) Анатомия кризиса: причины и последствия роста цен на продовольствие. *Agric Econ* 39(SUPPL. 1):375–391. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2008.00345.x>
- Hodson de Jaramillo E, Henry G, Trigo E (2019) Биоэкономика: новая основа для устойчивого роста в Латинской Америке. https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/I0554/43705/Bioeconom%3%ada_WEB.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Просмотрено 16 декабря 2025 г.
- Хофф Х., Джонсон Ф. Экс., Аллен Б., Бибер-Фройденбергер Л., Фёрстер Дж. Дж. (2018) Пути устойчивого использования биоресурсов на пути к миру без ископаемого топлива: европейская биоэкономика в контексте глобального развития. В: Институт европейской экологической политики (IEEP), Брюссель
- Хёльшер К., Виттмайер Дж. М., Лорбах Д. (2018) Переход против трансформации: в чём разница? *Environ Innov Soc Trans* 27:1–3. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.12.003>
- IACGB (2015) Коммюнике: использование биоэкономики в интересах устойчивого развития. Доступно по адресу: https://gbs2015.com/fileadmin/gbs2015/Downloads/Communique_final_neu.pdf. Просмотрено 15 декабря 2025 г.
- IACGB (2020) Отчет о глобальной политике в области биоэкономики (IV): десятилетие развития политики в области биоэкономики во всем мире. Международный консультативный совет по глобальной биоэкономике. https://gbs2020.net/wp-content/uploads/2021/04/GBS-2020_Global-Bioeconomy-Policy-Report_IV_web-2.pdf. Просмотрено 16 декабря 2025 г.
- IACGG (2024) Глобализация биоэкономики: последние тенденции и движущие силы национальных программ и политики. Международный консультативный совет по глобальной биоэкономике. Доступно по адресу: https://www.iacgb.net/lw_resource/datapool/systemfiles/elements/files/52440fb0-f35d-11ee-9ed1-dead53a91d31/current/document/Global_Bioeconomy_-_April_2024_IACGB.pdf. Просмотрено 16 декабря 2025 г.

- Джонсон Ф.К., Каналес Н., Филдинг М., Гладких Г., Аунг М.Т., Бейлис Р. (2022) Сравнительный анализ концепций и путей развития биоэкономики на основе диалогов с заинтересованными сторонами в Колумбии, Руанде, Швеции и Таиланде. *J Environ Policy Plan* 24(5):680–700. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2022.2037412>
- Калькуль М., фон Браун Дж., Тореро М. (2016) Волатильность и экстремальные цены на продовольствие, продовольственная безопасность и политика: обзор. В: Калькуль М., фон Браун Дж., Тореро М. (ред.) Волатильность цен на продовольствие и ее последствия для продовольственной безопасности и политики. Springer Open, с. 3–31
- Луазо Э., Сайкку Л., Антикайнен Р. и др. (2016) «Зеленая экономика и связанные с ней концепции: обзор». *J Clean Prod* 139:361–371. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.024>
- Люманн М., Фогельполь Т. (2023) Биоэкономика в Германии: провальный политический проект? *Ecol Econ* 207:107783. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107783>
- Манн К. К. (2018) Волшебник и пророк — наука и будущее нашей планеты. Picador, Лондон Мерриам-Вебстер (2024) Биоэкология. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/bioecology>. Проверено 11 декабря 2024 г.
- Мейер Р. (2017) Стратегии биоэкономики: контексты, видения, руководящие принципы реализации и связанные с ними дискуссии. *Sustainability* 9(6):1031. <https://doi.org/10.3390/su9061031>
- Министерство науки, технологий и инноваций (2020) Биоэкономика для устойчивого роста. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/bioeconomia_para_un_crecimiento_sos-tenible-qn_print.pdf. Просмотрено 16 декабря 2025 г.
- Министерство развития, промышленности, торговли и услуг (MDIC). Федеральное правительство запускает Национальную стратегию биоэкономики. Просмотрено 29 ноября 2024 г. <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2024/junho/governo-federal-lanca-a-estrategia-nacional-de-bioeconomia>. Просмотрено 16 декабря 2025 г.
- Muscat A, de Olde EM, Ripoll-Bosch R, Van Zanten HNE, Metzger TAP, Termeer CJAM, van Ittersum MK, de Boer IJM (2021) Принципы, движущие силы и возможности циркулярной биоэкономики. *Nat Food* 2:561–566. <https://doi.org/10.1038/s41574-021-00387-7>
- O'Brien M, Schütz H, Bringezu S (2015) Земельный след биоэкономики ЕС: инструменты мониторинга, пробелы и потребности. *Land Use Policy* 47:235–246. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.04.012>
- ОЭСР (2004) Биотехнологии для устойчивого роста и развития. ОЭСР, Париж
- Оллинахо Дж., Кёгер Х. (2023) Разделение двух граней «биоэкономики»: экономика плантаций и социально-биоразнообразная экономика в Бразилии. Лесная политика и экономика 149: 102932
- Patermann C, Aguilar A (2018) Истоки биоэкономики в Европейском союзе. *New Biotechnol* 40:20–24. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.04.002>
- Пирс Д. В., Тернер К. Р. (1989) Экономика природных ресурсов и окружающей среды. Издательство Университета Джонса Хопкинса, Балтимор
- Pollution Probe (2002) На пути к биоэкономике — проблемы и вызовы. Pollut Probe, Торонто
- Поточник Дж. (2005) Превращение знаний в области наук о жизни в новые экологически эффективные и конкурентоспособные продукты. Выступление на конференции по биоэкономике, основанной на знаниях, Брюссель, 15 сентября 2005 г., Европейская комиссия, Брюссель
- Рибейро С. М., Жардим Х. Л., де Азеведо У. Р., Коэльо В., Бачи Л. С., Соарес-Фильо Б. (2020) Недревесные лесные продукты (НДЛП) в биомассе бразильской Амазонки и Серрадо: многоуровневое управление для внедрения усовершенствованных социально-биоразнообразных цепочек. *Sustainability in Debate* 11(2):42–61
- Родригес А. Г., Родригес М., Сотомайор О. (2019) На пути к устойчивой биоэкономике в Латинской Америке и Карибском бассейне: элементы региональной концепции. Экономическая комиссия для Латинской Америки и Карибского бассейна (ЭКЛАК)
- Сальвадор Р., Баррос М.В., Фрейре Ф., Халог А., Пекарски К.М., Де Франциско А.К. (2021) Стратегии циркулярной экономики в бизнес-моделировании: определение факторов, оказывающих наибольшее влияние. *J Clean Prod* 229:126918. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126918>
- Саес М.С.М., Саес Б.М., Фейтоса Э.Р.М., Пошен П., Вал А.Л., Маркович Дж. (2023) Когда цепочки поставок укрепляют биологическое и культурное разнообразие? Методы и показатели для биоэкономики, ориентированной на социальное и биологическое разнообразие. *Sustainability* 15(10):Статья 10. <https://doi.org/10.3390/su15108053>
- Sarmiento Barletti JP, Monterroso I, Atmadja S (2021) Уроки социальной инклюзивности для трансформационных решений в области лесной биоэкономики. <https://doi.org/10.17528/cifor/008272>
- Шейтерле Л., Ульмер А., Бирнер Р. и др. (2018) От сырьевых цепочек создания стоимости к сетям создания стоимости на основе биомассы: пример сахарного тростника в биоэкономике Бразилии. *J Clean Prod*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.150>
- Сенгупта П., Чоудхури Б.К., Митра С., Агравал К.М. (2019) Низкоуглеродная экономика для устойчивого развития. В: Справочный модуль по материаловедению и материалобработке. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11217-2>
- Сигел К. М., Дечанчо М., Кефели Д., де Кейроз-Штайн Г., Дитц Т. (2022) Содействие переходу к устойчивости? Политика развития биоэкономики в Аргентине, Уругвае и Бразилии. *Bull Lat Am Res* 41(2):222–238. <https://doi.org/10.1111/blar.13353>
- Синкко Т., Санье-Менгуаль Э., Коррадо С., Джунтоли Дж., Сала С. (2023) Экологический след биоэкономики ЕС: использование оценки жизненного цикла для мониторинга воздействия биоэкономики ЕС на окружающую среду. *Sustain Prod Consump* 37:169–179. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.02.015>
- Trigo EJ, Henry G, Sanders J, Schurr U, Ingelbrecht I, Revel C, Santana C, Roch P (2013) На пути к

- Развитие экономики в Латинской Америке и Карибском бассейне. Доступно по адресу: https://agritrop.cirad.fr/567934/1/document_567934.pdf
- ООН (1992) Повестка дня на XXI век. Конференция Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, Бразилия, 3–14 июня 1992 г. Доступно по адресу: <https://sustainabledevelopment.un.org/outcomedocuments/agenda21>. Просмотрено 15 июля 2017 г.
- ООН (2012) Будущее, которого мы хотим. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей Организации Объединенных Наций на шестой сессии 22 сентября 2012 г. A/Res/66/288
- ЮНЕП (2011) На пути к устойчивому развитию и искоренению бедности. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП). www.unep.org/greeneconomy. Проверено 15 июля 2017 г.
- Урметцер С., Ласк Дж., Варгас-Карпинтеро Р., Пика А. (2020) Учиться меняться: трансформационные знания для построения устойчивой биоэкономики. *Ecol Econ* 167:106435. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106435>
- ван дер Веен С., Асвелд Л., Оссевейер П. (2024) Проектирование биооснованных цепочек создания стоимости для социальной справедливости: потенциал проектирования с учетом возможностей. *Energy Res Soc Sci* 117:103724. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103724>
- Vogt W (1948) Путь к выживанию. William Sloane Associates, Нью-Йорк
- фон Браун (2014) Биоэкономика и устойчивое развитие – аспекты. *Rural* 21(2):6–9
- WCED (1987) Наше общее будущее. Всемирная комиссия по окружающей среде и развитию (WCED). Oxford University Press, Оксфорд
- Белый дом (2012) Национальный план развития биоэкономики, Вашингтон
- Белый дом (2022) Распоряжение о продвижении инноваций в области биотехнологий и биопроизводства для устойчивой, безопасной и надежной американской биоэкономики, Вашингтон, округ Колумбия
- Всемирный банк (2023) Раскрытие возможностей для биоэкономики в горных регионах Румынии. Соглашение о возмещаемых консультационных услугах по развитию горных районов Румынии. Всемирный банк, Вашингтон, округ Колумбия
- WWF (2009) Промышленная биотехнология — больше, чем «зеленое» топливо в «грязной» экономике? Всемирный фонд дикой природы (WWF) Дания, Копенгаген
- Zink T, Geyer R (2017) Восстановление циркулярной экономики. *J Ind Ecol* 21(3):593–602. <https://doi.org/10.1111/jiec.12545>

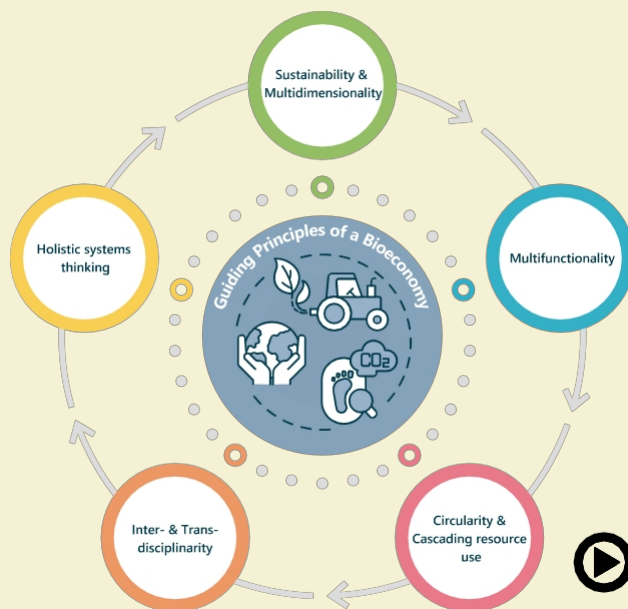
Открытый доступ. Настоящая глава лицензирована в соответствии с условиями международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает использование, обмен, адаптацию, распространение и воспроизведение в любом носителе или формате при условии указания соответствующих ссылок на оригинального автора (авторов) и источник, предоставления ссылки на лицензию Creative Commons и указания, были ли внесены изменения.

Изображения или другие материалы третьих лиц, содержащиеся в данной главе, включены в лицензию Creative Commons данной главы, если иное не указано в строке с указанием авторства материала. Если материал не включен в лицензию Creative Commons данной главы, а предполагаемое вами использование не разрешено законодательством или выходит за рамки разрешенного использования, вам необходимо получить разрешение непосредственно у владельца авторских прав.



Руководящие принципы биоэкономики

Валентин Шлехт, Мариэль Тренкнер, Андреа Книрим и
Рикардо Варгас-Карпинтеро



○ Рис. 3.0 Руководящие принципы биоэкономики (▶ <https://doi.org/10.1007/000-htd>)

Содержание

- 3.1 Устойчивость и многомерность – 50
 - 3.2 Многофункциональность – 53
 - 3.3 Циркулярность и каскадное использование ресурсов – 57
 - 3.4 Междисциплинарность и трансдисциплинарность – 61
 - 3.5 Подход на основе целостного системного мышления в биоэкономике – 64
- Список литературы – 69**

Дополнительная информация Онлайн-версия содержит дополнительные материалы, доступные по адресу https://doi.org/10.1007/978-3-032-09098-0_3. Доступ к видео можно получить по отдельности, щелкнув ссылку DOI в подписи к сопровождающему рисунку или отсканировав эту ссылку с помощью приложения SN More Media.

Биоэкономика, которая охватывает производство, преобразование и использование возобновляемых биологических ресурсов, открывает путь к трансформации нашего общества путем содействия устойчивым инновациям, основанным на знаниях. Конечной целью биоэкономики является обеспечение благополучия нынешнего и будущих поколений в пределах планетарных границ, а также обеспечение непрерывного восстановления экологических функций и экосистемных услуг.

В этой главе мы предлагаем принципы, которые помещают концепцию биоэкономики в более широкий контекст. Ключевые принципы, определяющие трансформацию биоэкономики, включают:

- Устойчивость: Обеспечение долгосрочного здоровья окружающей среды и регенерацию ресурсов.
- Многофункциональность: развитие способности одновременно выполнять несколько задач
- Циркулярность и каскадное использование биомассы: содействие последовательному использованию и переработки ресурсов для создания замкнутых систем.
- Междисциплинарность и трансдисциплинарность: объединение знаний из различных областей и привлечение различных заинтересованных сторон.
- Целостное системное мышление: учет всего жизненного цикла биологических ресурсов, контекстуальных условий и точек зрения заинтересованных сторон.

Эти принципы выступают в качестве «универсальных» базовых истин, общих условий или описательных элементов для построения биоэкономики и формируют «ограждающую структуру» для трансформации.

Цели обучения

После изучения этой главы вы...

- ...сможете описать принципы и цели биоэкономики (см. ▶ разделы 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 и 3.5).
- ...сможете объяснить, как биоэкономика объединяет знания из различных областей и вовлекает множество заинтересованных сторон для достижения своих целей в области устойчивого развития, способствуя сотрудничеству между дисциплинами (см. ▶ разд. 3.4 и 3.5).
- ...уметь применять принципы циркулярности и каскадного использования биомассы

для определения стратегий, способствующих повторному использованию, переработке и каскадному использованию биомассы в замкнутых системах, а также для иллюстрации того, как эти практики способствуют более устойчивой биоэкономической

(см. ▶ раздел 3.3).

- ...уметь определить роль системного мышления в биоэкономике для обеспечения устойчивости и регенерации экосистем в биоэкономической практике (см. ▶ раздел 3.5).

Неудивительно, что мир все чаще сталкивается со сложными вызовами. Сегодня мы сталкиваемся с ситуациями, когда вещи, которые десятилетия назад считались отдельными, теперь сталкиваются друг с другом. Решения, принятые в прошлом в отношении управления природными ресурсами, создали долгосрочные последствия, которые сегодня приводят к нарушению функций планеты. Поскольку наши существующие социально-экономические системы нарушают несколько планетарных границ (Rockström et al. 2009; Steffen et al. 2015; IPCC 2018; Richardson et al. 2023), мы переживаем радикальные технологические и социально-экологические изменения, которые приводят к переосмыслению наших экономических и социальных моделей (например, глобального энергоснабжения). Эта сложная ситуация, в которой взаимосвязаны многочисленные глобальные кризисы (например, изменение климата, утрата биоразнообразия) и социальные вызовы (например, бедность, голод и неравенство), требует преодоления разрыва между нынешними системами и новыми концепциями. Нашему обществу необходима целостная трансформация, способная способствовать позитивным изменениям.

Биоэкономика — производство, переработка и использование возобновляемых биологических ресурсов и знаний для предоставления биопродуктов и услуг наряду с созданием экологической, социальной и экономической ценности — обладает потенциалом для обеспечения подходящих механизмов этой целостной трансформации. Ее секторы и отрасли уже продемонстрировали сильный инновационный потенциал благодаря использованию науки, вспомогательных и промышленных технологий, а также местных и неформализованных знаний (De Besi and McCormick 2015). Биоэкономика может привести к позитивным изменениям благодаря основанным на знаниях и целенаправленным инновациям

инновации.

Внедряя решения в области биоэкономики в рамках как устоявшихся, так и новых биооснованных цепочек и сетей создания стоимости (см. ▶ гл. 4), можно удовлетворить энергетические и материальные потребности нашего общества могут быть удовлетворены за счет эффективного использования возобновляемых ресурсов (т. е. биомассы) в замкнутых циклах. Переход к биоэкономике может быть направлен на решение ряда глобальных проблем, возникающих в связи с ростом населения (например, продовольственная безопасность, здравоохранение и энергетическая безопасность), или в ответ на риски, связанные с изменением климата изменения климата (см. ▶ Гл. 1). В то же время переход к биоэкономике можно рассматривать как инструмент содействия технологическим инновациям (Dietz et al. 2018; Bringezu et al. 2020; Muscat et al. 2021).

Важнейшим ресурсом для биоэкономики является биомасса. Растущий спрос на переход от ископаемых ресурсов к возобновляемым для различных целей (продовольствие, корма, топливо, волокно) может привести к дополнительной нагрузке на окружающую среду и конкуренции за ресурсы (например, землю, воду, рабочую силу). То, как развиваются пути производства и потребления в биоэкономике, во многом зависит от регионального контекста и условий (Рука et al. 2020). Биоэкономика направлена на объединение секторов экономики и субъектов, производящих и использующих биомассу (например, фермеров, традиционных и новых пищевых отраслей), на разных уровнях (региональном и межрегиональном), что приводит к появлению разнообразных продуктов, услуг и взаимоотношений (см. ▶ гл. 4).

При этом биоэкономика должна многочисленными компромиссы, уравнивая экологическую устойчивость с экономической жизнеспособностью и социальной приемлемостью. Это включает, среди прочего, управление конкурирующими видами землепользования, такими как сельское хозяйство для производства продовольствия и выращивание биоэнергетических культур, а также решение вопросов потенциального воздействия на биоразнообразие и экосистемные услуги (см.

▶ гл. 40 и 41). Кроме того, биоэкономика должна адаптироваться к таким внешним факторам,

как изменение климата, экономические сдвиги и политические события, которые могут повлиять на доступность ресурсов (например, биомассы, инвестиций) и способствовать или препятствовать процессу перехода.

Многообразие пониманий и интерпретаций термина «биоэкономика» (см.

▶ гл. 2 о развитии концепции) привело к отсутствию единого понимания понимания того, что он на самом деле означает (Bracco et al. 2019). Это указывает на то, что термин «биоэкономика» требует фундаментального обсуждения, оспаривания, адаптации и эволюции с течением времени.

Возникает вопрос о том, какое влияние окажут различные пути трансформации биоэкономики при их комплексной оценке с разных точек зрения (Egenolf and Bringezu 2019). В зависимости от лежащих в основе региональных условий и допущений возможны как возможности, так и потенциальные конфликты и риски (Dietz et al. 2018). Это подразумевает, что трансформация биоэкономики не должна иметь жестко заданных границ, а должна следовать общим принципам, которые служат ориентирами или путеводными звездами для ее проектирования и развития. Хотя эта концепция является хорошей отправной точкой, ее необходимо доработать, чтобы она отражала нашу реальность и обеспечивала достижение целей смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним, а также защиты природы в рамках справедливого перехода (EU Bioeconomy Youth Ambassadors 2024). Устойчивая (региональная) биоэкономика должна быть нацелена на обеспечение достойной жизни для всех в рамках региональных и глобальных планетарных границ.

В следующих разделах мы предлагаем принципы и даем представление о том, как создать условия, необходимые для устойчивой биоэкономики, помещая эту концепцию в более широкий контекст. Эти принципы служат обзором «универсальных», общих условий или описательных элементов для достижения трансформации в направлении биоэкономики. Они действуют как своего рода ДНК биоэкономики и должны направлять процесс перехода и инноваций, способствуя его упрощению. Эти принципы дают обзор роли различных аспектов в развитии и внедрении биоэкономики на разных уровнях и призваны обеспечить, чтобы правильно реализованная биоэкономика могла служить обществу, например, в соответствии с Целями устойчивого развития (ЦУР). В контексте биоэкономики эти принципы заключаются в следующем:

1. *Устойчивость*: обеспечение устойчивости биоэкономических практик путем учета долгосрочного воздействия на окружающую среду, восстановления ресурсов и здоровья экосистем.
2. *Многофункциональность*: содействие развитию способности одновременно выполнять несколько задач, включая создание экономической ценности, поддержку экологической устойчивости и обеспечение социальных выгод.
3. *Циркулярность и каскадное использование ресурсов*: содействие повторному использованию, переработке и регенерации ресурсов для создания замкнутых систем, которые сокращают объем отходов и повышают эффективность использования ресурсов.
4. *Междисциплинарность и трансдисциплинарность*: объединение знаний из разных областей для комплексного решения проблем и использования возможностей при вовлечении различных заинтересованных сторон, включая политиков, промышленность, сообщества и исследователей.
5. *Подход, основанный на целостном системном мышлении*: понимание и оценка биоэкономики с учетом ее взаимозависимостей и контекстуальности, например, всего жизненного цикла продукта от добычи ресурсов до утилизации в рамках социально-экономических условий.

Устойчивость — это практика удовлетворения текущих потребностей без ущерба для способности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности (Комиссия ООН по устойчивому развитию, 1987). Она включает в себя поддержание баланса между экономическим ростом, охраной окружающей среды и социальным благополучием.

Центральным элементом концепции устойчивости является «тройной итог». Часто обобщаемый как «люди, планета и прибыль», тройной итог подчеркивает, что подлинная устойчивость требует сбалансированного учета экономической жизнеспособности, социальной справедливости и экологического благополучия (см. рис. 3.1). Это означает ведение деятельности таким образом, чтобы повышать благосостояния общества, сохраняет и защищает природные ресурсы и остается финансово прибыльной. Объединяя эти три аспекта, «тройной результат» способствует принятию более ответственных и этичных решений, в конечном итоге стремясь к гармоничному сосуществованию человеческой деятельности и экосистем Земли.

© Хотите узнать больше об истории устойчивого развития? Посмотрите [О Дополнительное видео 3.1](#), видео из нашего МООС «Концепции устойчивой биоэкономики» (2021).

3.1 Устойчивость и многомерность

Концепция устойчивости в контексте производственных экономических систем берет свое начало в лесном хозяйстве — в стремлении сохранить ценность леса и обеспечить возможность его использования в будущем: вырубать следует столько деревьев, сколько может заново вырасти. В общем плане это означает, что цель устойчивости заключается в сохранении важнейших природных ресурсов, содействии экономическому росту за счет более эффективной защиты окружающей среды при одновременном обеспечении благосостояния и социального прогресса.

Как объясняется в ► гл. 2, более широкое применение термина «устойчивость» было в докладе Брундтланд 1987 года, официально известном как «Наше общее будущее», в котором подчеркивалась необходимость практик устойчивого развития во всем мире (Комиссия Брундтланд Организации Объединенных Наций, 1987).

Проще говоря, концепция устойчивости подразумевает поиск лучших или оптимальных решений (будь то экологических, экономических или социальных) для вызовов, связанных со сложными проблемами, относящимися к конкретному временному и географическому масштабу (Santillo 2007). Это означает, что термин в значительной степени зависит от контекста, в котором он применяется, и от точки зрения, на которой он основан. Устойчивость можно определять и использовать в широком или узком смысле (например, слабая или сильная устойчивость), но для ее эффективного применения необходимо уточнять контекст, а также рассматриваемые временные и пространственные масштабы (Brown et al. 1987).



О Рис. 3.1. Аспекты устойчивости: тройной результат

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ

Относится к широкому набору принципов и практик принятия решений, направленных на достижение экономического роста без ущерба для окружающей среды или общества

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ

Означает практику поддержания и сохранения природных ресурсов и экосистем для обеспечения их здоровья и доступности для будущих поколений.

СОЦИАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ

Означает практику формирования справедливых, инклюзивных и сплоченных сообществ, в которых удовлетворяются потребности всех людей и поддерживается их благополучие в долгосрочной перспективе.

Слабая устойчивость исходит из того, что природный и произведенный капитал по сути взаимозаменяемы, и предполагает отсутствие существенных различий между видами благополучия, которые они генерируют. Общая стоимость совокупного запаса капитала должна как минимум сохраняться или, в идеале, увеличиваться в интересах будущих поколений.

Сильная устойчивость не согласуется с взаимозаменяемостью природного и произведенного капитала, поскольку некоторые элементы природного капитала имеют решающее значение благодаря своему уникальному вкладу в благополучие человека. Критически важный природный капитал можно концептуализировать как экосистемные услуги, предоставляемые природным капиталом. Это подчеркивает необходимость поддержания экологического функционирования природных систем для сохранения способности природного капитала предоставлять те услуги, которые имеют критическое значение для существования и благополучия человека (Brand 2009; Pelenc and Ballet 2015).

Наши социально-экономические системы основаны на природных ресурсах (см. ► Гл. 1). С помощью труда и капитала сырье превращается в товары, служащие для удовлетворения

потребности людей. Воздействие нашей нынешней экономической системы на окружающую среду настолько обширно, что растет риск необратимых изменений и ущерба для наших экосистем и благополучия людей (Steffen et al. 2015; Richardson et al. 2023). Такие движущие силы перемен, как технологический прогресс, геополитическая динамика и климатические сдвиги, неизбежно нарушат циклы материальных и энергетических потоков. Поэтому для достижения устойчивости, по всей вероятности, потребуется разработка устойчивых, адаптивных систем, и наоборот (Fiksel and Bakshi 2023).

Нам необходимо разрабатывать системы, способные справляться с непредвиденными изменениями. Эти системы должны быть регенеративными и разнообразными, способными опираться на собственный потенциал и развиваться в условиях потрясений. Такое понимание *устойчивости* имеет решающее значение для обеспечения экологической устойчивости (Cascio 2009). Именно здесь на сцену выходит биоэкономика. Системы биоэкономики предлагают альтернативу традиционным системам, основанным на ископаемом топливе, предлагая подход, который можно согласовать с этими принципами для продвижения системы, которая является устойчивой, устойчивой к воздействиям, адаптивной, регенеративной и способной процветать в условиях изменений.

Биоэкономика открывает путь к сокращению или устранению выбросов, обеспечивая при этом положительный вклад, в частности, в биоразнообразии, экосистемные услуги и социальное благополучие. Благодаря интеграции биоэкономических стратегий,

мы можем усилить меры по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним, содействовать устойчивому экономическому развитию и решать проблемы в рамках наших нынешних социально-экономических систем. Биоэкономика способствует смягчению последствий изменения климата за счет обеспечения чистой энергией, улавливания и хранения углерода (улавливания и хранения углекислого газа из атмосферы) и создания поглотителей углерода, таких как лесопосадки. Кроме того, путем продвижения устойчивых к изменению климата сельскохозяйственных систем и устойчивых практик, таких как ресурсосберегающее земледелие, агролесоводство и органическое сельское хозяйство, биоэкономика играет значительную роль в адаптации.

Однако растущий спрос на биоресурсы вызывает серьезные опасения в отношении социально-экологической устойчивости (Рука et al. 2020). Сюда входят задачи по обеспечению устойчивого и эффективного использования воды и земель для производства биомассы, а также по смягчению воздействия на экосистему и ее биологическое разнообразие (Pfau et al. 2014; Dietz et al. 2018; Gawel et al. 2019). Биоразнообразие — это разнообразие и многообразие всех форм жизни на Земле — способствует эффективному функционированию природных систем и поддерживает экосистемные услуги, такие как чистая вода, плодородные почвы и регулирование климата, от которых зависит окружающая среда (Locke et al. 2021). Оно также является источником биологических ресурсов, от которых зависит биоэкономика

(см. ► гл. 40). Поэтому биоэкономические инновации должны быть сосредоточены на разработке ресурсосберегающих эффективных технологий и методов для повышения производительности в сельском хозяйстве, лесоводстве и аквакультуре, обеспечивая при этом достаточность ресурсов, способствуя их рациональному использованию и сохраняя несущую способность Земли и биоразнообразие.

Экскурс 3.1: Управление ресурсами

Успешный переход к устойчивости требует соблюдения трех ключевых аспектов управления ресурсами: эффективности, достаточности и согласованности. *Эффективность использования ресурсов* означает получение большей выгоды от каждой единицы используемого природного ресурса. Это связано с *достаточностью ресурсов*, которая сосредоточена на сокращении общего потребления первичного сырья. Кроме того, *согласованность ресурсов* или замена невозобновляемых

замещение ископаемых ресурсов возобновляемыми имеет решающее значение для достижения устойчивого будущего (Zukunftsforscher Rheinisches Revier 2021).

Хотите узнать больше о стратегиях устойчивого развития, эффективности, результативности/согласованности или достаточности? Посмотрите

Дополнительное видео 3.2, видео из нашего MOOC «Концепции устойчивой биоэкономики» (2021).

Устойчивая биоэкономика требует тщательного проектирования и развития, основанных на осознанном планировании и комплексной оценке (Wellisch et al. 2010, с. 283). Применение экологически обоснованных принципов, таких как синтропия, агроэкология, восстановление земель и устойчивая интенсификация, имеет решающее значение для разработки биосистем, позволяющих избежать негативного воздействия на экосистемы. Для обеспечения положительного вклада в устойчивость не менее важно учитывать социальные, экономические и технологические аспекты наряду с экологическими соображениями (Schindler 2021). Получающаяся в результате *многомерность* гарантирует, что биоэкономика будет одновременно инклюзивной и всеобъемлющей, решая ключевые проблемы во взаимосвязанных областях.

Многомерность в устойчивой биоэкономике признает различные аспекты — экологические, экономические, социальные и технологические — которые необходимо учитывать для достижения устойчивости.

- Экологический аспект: управление водными ресурсами, устойчивое землепользование, адаптация к изменению климата и смягчение последствий, сохранение и поощрение биоразнообразия
- Социальный аспект: продовольственная безопасность, инклюзивность, интеграция интеграция традиционных знаний, справедливый доступ и равенство
- Экономическая: инновации, создание добавленной стоимости, создание рабочих мест, диверсификация доходов, развитие печенок создания добавленной стоимости
- Технологические: достижения в области биотехнологий, новые источники биомассы, новые процессы и продукты, подходы к биопереработке, улавливание и использование углерода (CCU), искусственный интеллект и большие

Переход к устойчивой биоэкономике предполагает трансформацию производства в направлении создания экологической, социальной и экономической ценности. У него нет четких очертаний, но он формируется в процессе взвешивания возможностей и рисков в местном контексте. Поэтому концепция устойчивости должна стать руководящим принципом для перехода к биоэкономике (Gawel, Pannicke и Nagemann 2019). Биоэкономика должна руководствоваться комплексной долгосрочной перспективой, объединяющей все аспекты устойчивости. Необходимы как новые технологии, позволяющие более рационально использовать биоресурсы, так и методы оценки, способствующие надежной и перспективной оценке воздействия существующих и новых биоресурсных решений (см. ► гл. 41).

Это требует готовности трансформировать бизнес-моделей и процессов с учетом принципов устойчивого развития. С глобальной точки зрения биоэкономика может вызвать положительные эффекты в сфере распределения (и тем самым способствовать справедливости как внутри поколений, так и между ними) и создать базу возобновляемых ресурсов, которая не будет ограничена конечным характером ископаемых ресурсов. *Таким образом, устойчивая биоэкономика должна гарантировать, что потребление биоресурсов не превышает их способности к восстановлению.*

▪ **Практические последствия:**

- Интеграция и продвижение устойчивого развития во всех измерениях (экономическом, социальном и экологическом) биоэкономики
- Активизация усилий по смягчению последствий глобального изменения климата и адаптации к ним
- Определение и применение комплексного набора экологических, социальных и экономических целей и критериев устойчивого развития
 - ЦУР = глобальная система целей для целостного устойчивого развития и важный инструмент для измерения и создания предпосылок для устойчивого перехода наших социально-экономических систем (Zeug et al. 2019)
- Требуются комплексные, строгие и прозрачные процедуры оценки, чтобы обеспечения экономической, экологической и социальной устойчивости биоэкономики

— Подходы, основанные на жизненном цикле, могут использоваться для изучения ключевых категорий воздействия и индикаторов, оценки экологических и социальных последствий (например, углеродный, водный и биоразнообразный следы, оценки социального воздействия), а также конечных эффектов этих факторов на все три ключевых столпа устойчивости (например, оценка устойчивости жизненного цикла) (см. ► гл. 41).

- Расширение масштабов применения устойчивых практик и потребления в биоэкономике с помощью различных методов, включая устойчивую интенсификацию (см. раздел «Сельскохозяйственное производство») и управление ресурсами

3.2 Многофункциональность

Биоэкономика может давать многочисленные и разнообразные результаты. Например, многофункциональная система, основанная на сельскохозяйственной биомассе, может производить продовольствие, волокно и биоэнергию, одновременно способствуя увеличению биоразнообразия, связыванию углерода и обеспечению средств к существованию для сельского населения. Аналогичным образом, многофункциональный биоперерабатывающий завод (см.

► гл. 17) может преобразовывать различные виды биомассы в целый ряд продуктов, включая биопластики и фармацевтические препараты, тем самым максимально повышая эффективность использования ресурсов и экономическую ценность.

В биоэкономике **многофункциональность** означает способность биологических ресурсов и систем одновременно служить нескольким целям, таким как обеспечение экономической ценности, поддержка экологической устойчивости и предоставление социальных выгод. Эта концепция подчеркивает интегрированное и разнообразное использование ресурсов, способствуя междисциплинарному сотрудничеству для максимизации выгод при одновременном минимизировании негативного воздействия на экосистемы.

Содействие многофункциональности в биоэкономике означает разработку систем и практик, позволяющих использовать весь спектр биологического потенциала. Такой подход может привести к созданию более устойчивых и

адаптивных систем биоэкономики, поскольку он способствует диверсификации получаемых выгод

из биологических ресурсов и снижает зависимость от отдельных видов продукции. Используя многофункциональность, биоэкономика может способствовать формированию более комплексного подхода к управлению ресурсами и развитию, обеспечивая при этом достижение целого ряда целей в области устойчивого развития — экономических, экологических и социальных (Lewandowski et al. 2024). Многофункциональность в биоэкономике можно объяснить с помощью

примере мискантуса, высокоурожайного многолетнего травянистого растения. Это растение может использоваться в качестве сырья для широкого спектра применений (биоэнергетика, биоматериалы) (см. рис. 3.2 справа) в различных секторах, одновременно предоставляя многочисленные экосистемные услуги (см. рис. 3.2 слева) и способствуя устойчивому развитию (поглощение углерода, улучшение здоровья почвы и содействие биоразнообразию).



○ Рис. 3.2 Многолетнее травянистое растение мискантус в период максимального роста биомассы в августе. Цветки (фото сверху справа) развиваются осенью. (© Moritz von Cossel)

Вставка 3.2: Мискантус

Мискантус — многолетнее корневищное растение с C4-типом фотосинтеза

(процесс фотосинтеза см. ► разд. 5.1)

). Эти физиологические особенности, среди прочего, делают мискантус культурой, обладающей высоким потенциалом для использования в многофункциональных системах сельскохозяйственного производства:

В благоприятных условиях эффективность использования радиации по пути фотосинтеза C4 может достигать 24%, по сравнению с 15% у растений C3, что приводит к более эффективному использованию воды и азота и, в конечном итоге, к более высокой эффективности землепользования и урожайности у культур C4.

В системе многолетнего выращивания мискантуса растения высаживаются один раз на период 20–30 лет. Почва обрабатывается только в первый год, в последующие годы основное внимание уделяется сбору повторно растущей биомассы. Ненарушенная почва способствует биоразнообразию, предотвращает эрозию и позволяет накапливать углерод.

Мискантус накапливает питательные вещества на зиму в корневищах (подземных стеблях), при этом 20–50 % основных питательных веществ (N, P, K, Mg) перемещаются из надземных стеблей в корневища. Этот внутренний круговорот питательных веществ снижает потребность в удобрениях и сводит к минимуму воздействие на окружающую среду

воздействие на окружающую среду, включая выбросы парниковых газов, вымывание нитратов и эвтрофикацию

(см. рис. 3.3).

Мискантус широко используется для производства биоэнергии

. Его биомассу можно сжигать напрямую или совместно с углем для производства электроэнергии и тепла. Для энергетических целей биомассу мискантуса либо убирают в сухом виде ранней весной, после того как питательные вещества растения перемещаются в корневища, либо убирают в зеленом виде поздней осенью для использования в качестве сырья для производства биогаза (Kiesel and Lewandowski 2017). Ферментативный гидролиз его лигноцеллюлозной биомассы позволяет получать этанол для использования

в качестве биотоплива (Lask et al. 2018) (см. рис. 3.4).

Ведутся исследования по производству биохимических веществ на основе мискантуса, таких как ГМФ (гидроксиметилфурфурол), ведутся, например, на биоперерабатывающем заводе Университета Хозэнхайма (Götz et al. 2023). Биомасса мискантуса также может использоваться для производства биоматериалов, таких как биопластики, композиты, бумага и строительные материалы. Она является ценным сырьем для композитов, армированных натуральными волокнами, в автомобильной и строительной промышленности.

Применение на фермах включает использование в качестве подстилки для птицы и лошадей. При использовании в качестве подстилки для индюков его высокая водопоглощающая способность позволяет ему служить в течение всего цикла, в отличие от соломы, которую приходится менять несколько раз. Для лошадей он представляет собой альтернативу соломе, предлагая безпыльный вариант, что особенно полезно для лошадей, страдающих аллергией (Lewandowski et al. 2022). В

зимний период подстилка из мискантуса не только выполняет свое основное назначение, но и способствует здоровью животных. Мискантус способствует (above ground)

Stems

(below ground)



Рис. 3.3 Внутривегетационный цикл основных питательных веществ растений — азота (N), фосфора (P), калия (K) и магния (Mg) в процессе роста мискантуса в течение года. Питательные вещества накапливаются в корневищах и питают новые прорастающие стебли весной. Осенью процесс происходит в обратном направлении, и

поглощению углерода и смягчению последствий изменения климата, поглощая CO₂ в процессе фотосинтеза и накапливая его в виде углерода в биомассе. Его глубокая корневая система и корневища переносят этот углерод в почву в виде органического вещества, увеличивая запасы углерода в почве. Мискантус также может связывать углерод в долговечных материалах, таких как строительные изделия, до тех пор, пока они не вернуться в цикл CO₂ по окончании срока использования. При использовании в качестве биотоплива он может способствовать сокращению выбросов парниковых газов за счет

замены ископаемого топлива (рис. 3.5).

Помимо экологических преимуществ мискантус способствует улучшению почвы и борьбе с эрозией. Его густая и многолетняя корневая система помогает стабилизировать почву и снизить риск эрозии, особенно на деградированных или малоплодородных землях. Он также повышает плодородие почвы за счет увеличения содержания органического вещества и улучшения структуры почвы и водоудерживающей способности, что имеет решающее значение для будущего роста сельскохозяйственных культур. Еще одна ценная функция, которую может выполнять мискантус, — это контроль паводковых вод. Само по себе полосное выращивание может быть очень эффективным для прерывания или отвода потоков паводковых вод. Наконец, многолетний характер мискантуса и тот факт, что поля остаются нетронутыми в течение длительных периодов времени, способствуют биоразнообразию, обеспечивая среду обитания для дикой природы, включая птиц и насекомых, тем самым способствуя сохранению биоразнообразия. Кроме того, как культура с низкими затратами, выращивание мискантуса требует лишь минимального использования удобрений и пестицидов, что помогает снизить загрязнение окружающей среды и способствует внедрению устойчивых методов ведения сельского хозяйства.

питательные вещества перемещаются из надземной части в подземные корневища перед уборкой биомассы

3



Рис. 3.4 Мискантус обеспечивает биомассу для одновременного производства множества биопродуктов, оказывая при этом различные экосистемные услуги

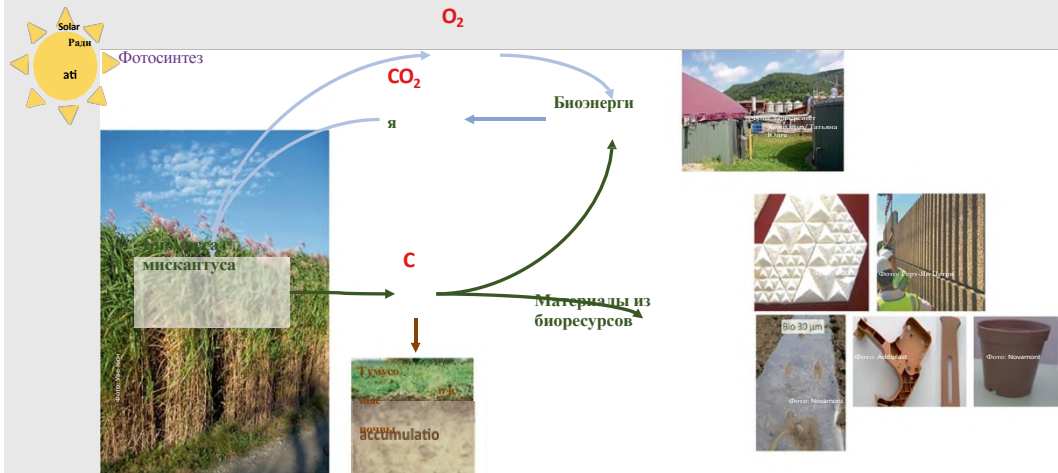


Рис. 3.5 Как производство биомассы из мискантуса обеспечивает сырьем для различных продуктов и одновременно снижает уровень CO₂ в атмосфере

- Отдавайте приоритет многофункциональным решениям, которые служат нескольким целям и позволяют преодолеть компромиссы
- Учет множественных путей утилизации и контекстуальных условий при

проектировании и разработке новых биосистем (см. ► гл. 4)

3.3 Циркулярность и каскадное использование ресурсов

Концепция циркулярности направлена на преобразование нынешней, в основном линейной экономической системы в устойчивую, регенеративную (Carus and Dammer 2018). Минимизируя отходы и потребление ресурсов посредством экодизайна, переработки и повторного использования, циркулярность стремится замкнуть материальные циклы, сохранить функциональность компонентов и материалов и поддерживать их ценность с течением времени (Европейское агентство по окружающей среде 2016). Циркулярность фокусируется на всей цепочке создания стоимости — от проектирования продукта до выбора и производства сырья, логистики, потребления и интеграции продукта в конце его жизненного цикла в процесс создания новой стоимости (Zukunftsagentur Rheinisches Revier 2021).

Концепция циркулярности предлагает различные социальные, экономические и экологические преимущества и считается ключевым компонентом для устойчивого перехода нашей экономической системы (Европейское агентство по окружающей среде, 2016; Carus и Dammer, 2018; Muscat и др., 2021; Stegmann и др., 2020). В идеальной циркулярной экономике сырье превращается в товары, которые после использования становятся отходами, пригодными для повторного использования, замыкая цикл потребления ресурсов (McDonough and Braungart 2002). Преимущества этой модели особенно очевидны

Термин *«циркулярная экономика»* описывает регенеративную систему, в которой потребление ресурсов, а также отходы, выбросы и утечки энергии сводятся к минимуму за счет замедления, закрытия или сужения материальных и энергетических циклов. Это может быть достигнуто посредством долговечного проектирования, технического обслуживания, ремонта, повторного использования, восстановления, реконструкции и переработки (Geissdoerfer et al. 2018).

в биоэкономике, где циркулярный поток распространяется на биологические ресурсы и питательные вещества.

Принципы циркулярности органично сочетаются с возобновляемым характером трансформации биоэкономики, поскольку и те, и другие направлены на интеграцию экономических, экологических и социальных целей для достижения задач в области устойчивого развития (D'Amato et al. 2017; Carus and Dammer 2018; Klauer and Schindler 2020). Циркулярная биоэкономика функционирует в рамках концепции циркулярности, используя биомассу и потоки отходов биологического происхождения в качестве ключевого элемента для производства различных биопродуктов, биохимикатов и биоэнергии на биоперерабатывающих заводах. Подход циркулярной экономики на основе биологических ресурсов сосредоточен на использовании биомассы и потоков отходов биологического происхождения для производства универсальных продуктов и источников энергии.

Интеграция принципов циркулярности в биоэкономику может повысить эффективность использования биомассы и создать новую ценность из потоков отходов (Klauer и Schindler 2020; Muscat et al. 2021). Цель внедрения этих принципов заключается в оптимизации использования природных ресурсов и сокращении объема отходов за счет создания новых каналов создания ценности. Различные практики, такие как рекуперация питательных веществ, переработка бумаги и производство биогаза, объединяют множество секторов, включая водоснабжение, санитарную, пищевую промышленность и строительство. Такая интеграция, или межотраслевое взаимодействие, стала фундаментальным аспектом циркулярной биоэкономики (Schipfer et al. 2024).

Однако в нашей нынешней экономической системе использование биоресурсов, как правило, не является ни циркулярным, ни ресурсоэффективным.

Несмотря на многообещающие возможности и экологические преимущества, более тщательный анализ показывает, что этот подход также сопряжен с рядом проблем.

Биоресурсы, получаемые из растений, которые поглощают углерод из атмосферы, вносят вклад в углеродный цикл, возвращая углерод в почву или атмосферу после использования продуктов, изготовленных из этих растений

Термин «циркулярная биоэкономика» описывает структуру экономики, которая по своему замыслу является восстанавливающей и регенеративной. Эта модель сочетает в себе устойчивое использование возобновляемых биологических ресурсов с принципами циркулярности, чтобы минимизировать образование отходов и одновременно повысить эффективность использования ресурсов. Приоритет отдается сохранению биоразнообразия и регенерации материалов, а зависимость от ископаемого топлива снижается. Стимулируя инновации в области биотехнологических, перерабатываемых и биоразлагаемых решений, циркулярная биоэкономика способствует развитию замкнутых систем, которые сочетают экономический рост с экологической устойчивостью, решая такие проблемы, как изменение климата и дефицит ресурсов.

и выбрасываются (Carrez and Van Leeuwen 2015).

Не всегда возможно полностью переработать многие виды отходов. Достижение бесконечной переработки (100% переработка) зачастую является как экономически нецелесообразным, так и технологически нереалистичным (Fritsche et al. 2020). Более того, невозобновляемые ресурсы, такие как минералы, металлы и редкоземельные элементы, остаются жизненно важными для нашей экономической системы даже при использовании самых передовых технологий (например, в производстве электроники). Поток биомассы отличается от потоков минералов и металлов из-за

уникальных характеристик биомассы, таких как биоразлагаемость, которая ограничивает возможности хранения и повторного использования и создает специфические экологические и социальные проблемы на этапе утилизации. Биомасса ценится за свои разнообразные свойства, такие как питательная ценность, энергетическая ценность, прочность, содержание воды и органолептические качества, что затрудняет ее циркулярное использование.

Законы термодинамики ограничивают потенциал создания идеально замкнутой системы. Например, процессы переработки часто приводят к ухудшению качества материалов и потребляют энергию, что требует добавления новых ресурсов для поддержания цикла (Corvellec et al. 2022; Giampietro and Funtowicz 2020). Это постепенное ухудшение качества, известное как «диссипативные потери», затрудняет достижение идеальной циркулярности. Более того, эффект рикошета, например, рост потребления в результате повышения эффективности использования ресурсов, может нивелировать экологические выгоды (см. Вставку 3.3).

Каскадное использование ресурсов — это стратегия, которая тесно согласуется с принципами циркулярной биоэкономики. Каскадное использование направлено на оптимизацию ценности биомассы с течением времени с точки зрения экономических, экологических и социальных аспектов, в идеале затрагивая все три составляющие устойчивого развития.

Например, Европейская комиссия уделяет приоритетное внимание каскадному использованию биомассы древесного происхождения, начиная с высокоценных применений и заканчивая производством энергии в качестве заключительного этапа. Она определяет каскадное использование биомассы древесного происхождения со следующим порядком приоритетов

Вставка 3.3: Эффект отскока

«Эффект рикошета» — это общий термин, обозначающий различные экономические механизмы, которые снижают «энергосбережение», достигаемое за счет повышения энергоэффективности (Lange et al. 2021).

В контексте циркулярной экономики «эффект рикошета» означает непреднамеренные последствия повышения эффективности использования ресурсов, которые приводят к увеличению

общего потребления. Например, экономия затрат за счет эффективных практик может привести к увеличению объемов производства или использования ресурсов, что нивелирует экологические выгоды. Двумя основными эффектами рикошета в циркулярной экономике являются (Schultz et al. 2024):

1. Несовершенная и/или недостаточная замена первичных материалов материалами, полученными путем переработки или повторного использования

Эффект отскока: эффект отскока возникает, когда продукты вторичного использования не могут эффективно конкурировать с продуктами первичного производства, что приводит к тому, что потребители покупают больше одноразовых товаров, тем самым увеличивая общее воздействие на окружающую среду.

2. Эффект повторных расходов или эффект дохода: эффект отскока возникает, когда потребители приобретают дополнительные

товары и услуги, поскольку замещение дорогостоящих ресурсов снижает цены. Это увеличение покупательной способности приводит к сильному положительному эффекту дохода, который с лихвой компенсирует первоначальный эффект замещения.

Приоритеты: «продукты на основе древесины; продление срока их службы; повторное использование; вторичная переработка; биоэнергия; утилизация» (Европейская комиссия, 2022 г.).

В циркулярной биоэкономике акцент смещается в сторону устойчивого и ресурсоэффективного использования биомассы посредством интегрированных, многопродуктовых систем, таких как

Каскадное использование ресурсов, или просто «каскадирование», подразумевает непрерывное использование ресурсов для различных целей, в идеале — на разных этапах повторного использования материалов. Концепция каскадирования описывается как стратегия, направленная на сохранение «добавленной стоимости» продуктов в течение максимально возможного времени. Подобно циркулярной биоэкономике, каскадирование способствует последовательной циркуляции ресурсов, тем самым повышая эффективность их использования (Blomsma and Brennan 2017; Campbell-Johnston et al. 2020).

биоперерабатывающие заводы (см. ► гл. 17). Такой подход не только максимизирует ценность, получаемую из

биомассе, но и обеспечивает переработку остатков и отходов, тем самым замыкая материальные циклы и повышая устойчивость.

Эти усилия в основном обусловлены технологическими инновациями в таких областях, как биотехнология, точное земледелие и другие инновационные производственные технологии, в то время как социальные, организационные и институциональные инновации (например, рамки политики в области использования отходов, новые бизнес-модели) дополняют усилия по минимизации и утилизации отходов. Черубини (2010) и другие авторы внесли вклад в определение концепции биоперерабатывающего завода как интегрированного производственного подхода, направленного на полное

использования биомассы для производства широкого спектра продуктов и услуг, в то время как

Биопереработка — это устойчивая переработка биомассы в спектр товарных продуктов (продукты питания, корма, материалы и химикаты) и энергии (топливо, электроэнергия и тепло). Биоперерабатывающий завод представляет собой инфраструктурный объект или кластер объектов, где интегрированы различные технологии преобразования (физические или механические, термохимические, биохимические, химические) для производства экологически устойчивых продуктов на биологической основе (например, биотоплива, биохимикатов, материалов на биологической основе и других высокоценных продуктов).

минимизация отходов и выбросов при переработке и преобразовании продуктов (см.

► гл. 17).

Эта концепция играет ключевую роль в оптимизации преобразования биомассы для достижения целей, поставленных в рамках концепции биоэкономики (Ubando et al. 2020).

Для обеспечения устойчивого регионального снабжения биомассой, устранения потенциальной нехватки и оптимизации использования ресурсов политика в области биоэкономики делает акцент на передовых моделях циркулярности. Эти модели ставят во главу угла эффективность использования ресурсов, переработку, утилизацию отходов и побочных потоков, а также продвижение практик устойчивого потребления. Рамочная директива ЕС по отходам служит основой для этих усилий, подчеркивая иерархию обращения с отходами в качестве руководства для минимизации воздействия на окружающую среду и максимизации эффективности использования ресурсов.

Пирамида стоимости биопродуктов еще раз иллюстрирует важность приоритизации высокоценных видов использования биомассы. Менее ценные применения

, такие как сжигание для получения энергии, требуют больших объемов биомассы, но приносят ограниченную выгоду. И наоборот, применения с более высокой добавленной стоимостью используют меньшие количества биомассы, принося при этом большую экономическую и экологическую выгоду. Поэтому каскадные этапы должны быть сосредоточены на поддержании качества ресурсов путем следования пирамиде стоимости биопродуктов (см. рис. 3.6) и, где это уместно, иерархии обращения с отходами.

Иерархия отходов служит в качестве порядка приоритетов в законодательстве и политике в области предотвращения образования отходов и обращения с ними (см. также ▶ гл. 13). Она является фундаментальным элементом политики ЕС в области отходов и закреплен в Рамочной директиве ЕС по отходам (Директива 2008/98/ЕС). Ее цели:

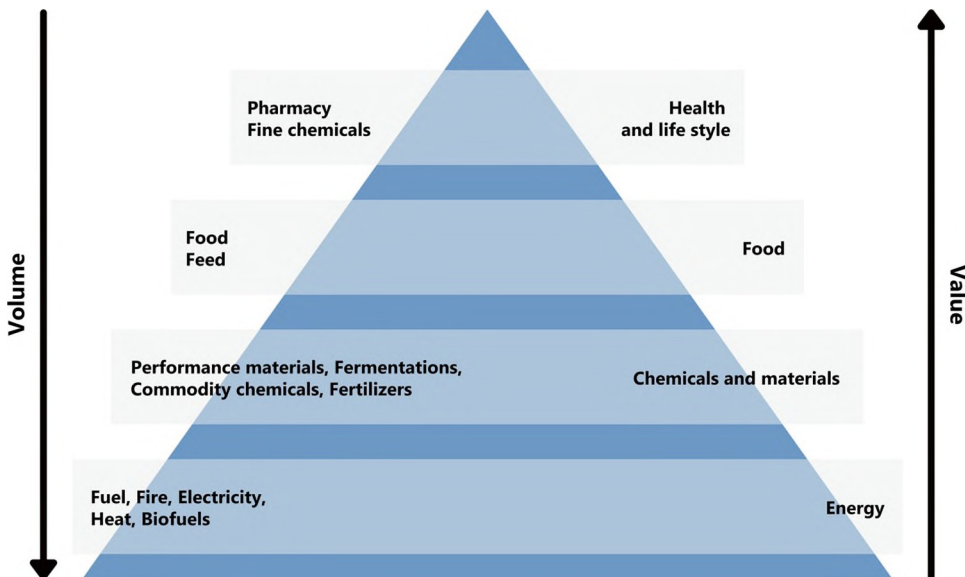
1. Минимизировать негативное воздействие образования отходов и обращения с ними.
2. Повышение эффективности использования ресурсов.

Принципы циркулярности и биоэкономика разделяют общее видение достижения устойчивости путем объединения экономических, экологических и социальных целей. Однако реализация этой

видение требует решения таких проблем, как ограниченность ресурсов, технологические ограничения и эффект рикошета. Благодаря стимулированию инноваций и продвижению интегрированных стратегий, таких как каскадное использование и биоперерабатывающие заводы, циркулярная биоэкономика может стать краеугольным камнем устойчивого развития, уравновешивающим потребности растущего населения с необходимостью сохранения природных ресурсов.

Вставка 3.4: Пирамида стоимости биопродуктов

Пирамида создания добавленной стоимости биопродуктов (см. рис. 3.6; см. также ▶ гл. 17) иллюстрирует разнообразные способы использования биомассы с созданием добавленной стоимости масс по всей производственной цепочке. Структура пирамиды показывает, что виды использования с более низкой добавленной стоимостью расположены у основания, а продукты и применения с более высокой добавленной стоимостью — ближе к вершине. У основания биомасса используется для сжигания с целью выработки тепла и электроэнергии, что представляет собой наименьшую добавленную стоимость. По мере продвижения вверх по пирамиде стоимость продуктов увеличивается, а требуемый объем биомассы уменьшается, поскольку применения с более высокой добавленной стоимостью требуют меньших объемов биомассы, но приносят большую экономическую и экологическую (см. также ▶ гл. 17).



○ Рис. 3.6 Пирамида стоимости биопродуктов

► **Пример: «KeRaus — Анализ замкнутого цикла переработки возобновляемого сырья из вторичных городских источников»**

Для достижения цели замкнутого цикла в пределах определенных территориальных границ крайне важно проводить отбор биопродуктов, получаемых на биоперерабатывающих заводах. В городских районах наблюдается концентрация сырьевых и ресурсных потоков, обеспечивающих эти густонаселенные районы ресурсами, товарами и продуктами. Их потребление генерирует огромные объемы остатков биомассы и отходов, включая как твердые, так и жидкие отходы, а также сточные воды. Биоэкономическая интеграция и каскадное использование этих потоков остатков и отходов из городских районов для производства широкого спектра биоматериалов и продуктов (например, удобрений) формирует основу циркулярного и устойчивого ресурсного обмена между городом и селом в духе циркулярной экономики (Trenkner et al. 2025).

Проект «KeRaus — Анализ замкнутого цикла переработки возобновляемого сырья из вторичных городских источников» характеризует и оценивает практическую осуществимость производства удобрений на биоперерабатывающих заводах из потоков органических отходов, зеленых отходов и осадка сточных вод в радиусе 100 км от города Штутгарта. В Штутгарте ежегодно образуется 64 000 т органических и зеленых отходов и 15 000 т сточных осадков (в сухом весе). Эти потоки отходов биомассы содержат много неиспользованных ценных остатков (таких как минералы для питания растений), которые потенциально можно переработать и утилизировать. Переработка богатых питательными веществами потоков отходов с помощью биоэкономических путей и технологий для производства удобрений может принести пользу как городским, так и сельским районам. Сельскохозяйственные производители и заинтересованные стороны получают поддержку в виде постоянных поставок удобрений, продовольственная безопасность обеспечивается на устойчивой основе, а воздействие производства удобрений на окружающую среду сводится к минимуму. Создание новых биоэкономических цепочек создания стоимости для использования остатков биомассы и потоков отходов позволяет оптимально связать городские и сельские районы Штутгарта. Требования к удобрениям, производимым на биоперерабатывающих заводах (количество, свойства, критерии качества и состав), определяются на основе спроса со стороны заинтересованных сторон в сельском хозяйстве. Проект содержит рекомендации

улучшение процессов на биоперерабатывающих заводах с целью разработки ценных продуктов. Наконец, предлагаются оптимальные биоэкономические пути утилизации бытовых отходов в виде вторичного удобрения

(см. ► гл. 14) для использования в сельскохозяйственных процессах. Это замыкает ресурсный цикл между сельскими и городскими районами с точки зрения важных питательных веществ для растений.

В целом KeRaus дает четкий ответ на вопрос, сколько удобрений требуется в настоящее время и какую их часть можно заменить вторичными удобрениями, а также предоставляет четкий анализ потенциала утилизации

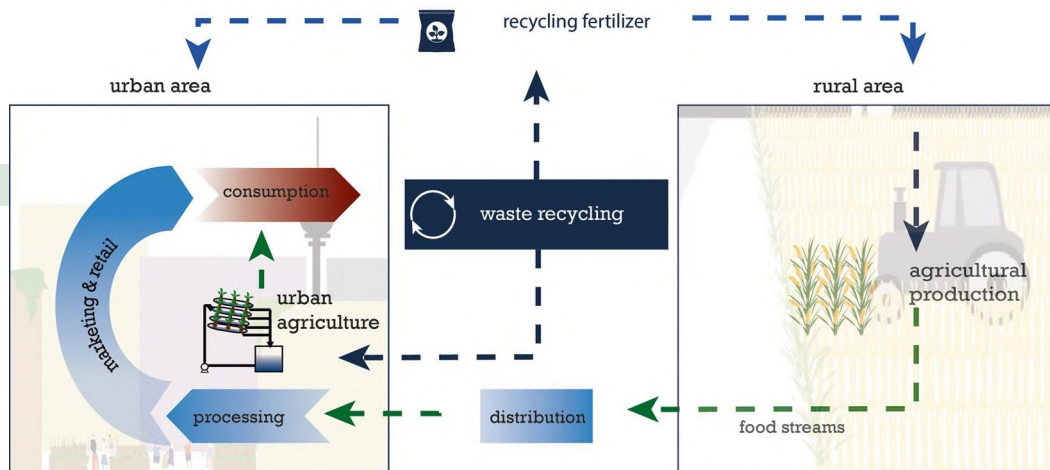
городских отходов из Штутгарта. Рис. 3.7 наглядно иллюстрирует структуру и цели данного исследовательского проекта. Сельские и городские районы показаны отдельно: сельские районы сосредоточены на сельскохозяйственном производстве, что приводит к появлению потоков продовольствия, снабжающих городские районы. Городские районы характеризуются потреблением продовольствия, что приводит к образованию потоков отходов. Благодаря переработке отходов для производства удобрений из вторичного сырья можно замкнуть цикл питательных веществ между этими двумя районами. ◀

• **Практические последствия:**

- Содействовать эффективному и циркулярному использованию биологических ресурсов
- Установить пространственные границы
 - Определение потоков входящих и исходящих ресурсов для установления пространственных границ
 - Охарактеризовать потоки отходов и остатков для определения путей их утилизации
 - Определить спрос на продукты на биологической основе для выбора направлений применения с высокой добавленной стоимостью
- Отбор и разработка технологий биопереработки для производства продукции из отходов и остатков, на которые существует спрос
- Оценить результаты и дать рекомендации по внедрению биопродуктов
- Оценить результаты и дать рекомендации по внедрению биопродуктов, полученных из вторичных ресурсов

3.4 Междисциплинарность и трансдисциплинарность

Биоэкономика основана на сотрудничестве, в частности, сельскохозяйственных, естественных, экономических и социальных наук и охватывает широкий спектр деятельности по множеству



○ Рис. 3.7 Схематическое изображение замкнутого цикла потоков сельскохозяйственных отходов и остатков для производства удобрений вторичной переработки, предназначенных для сельскохозяйственных процессов в городских и сельских районах. (© Marielle Trenkner)

разнообразные цепочки создания стоимости (Hasenheit et al. 2016; FAO 2018; Lewandowski 2018). Переход общества к более устойчивой форме производства и использования ресурсов в рамках парадигмы биоэкономики требует успешной интеграции научных и практических знаний, а также сотрудничества многочисленных участников из различных подсистем общества. Биоэкономика объединяет множество секторов, таких как сельское хозяйство, лесоводство и биотехнология, а также различных участников (например, фермеров, переработчиков, государственный сектор, НПО, гражданское общество). Взаимодействие между этими секторами и взаимосвязанными участниками можно рассматривать как систему управления (см. ▶ раздел 29.1) биоэкономики, сеть, в которой все взаимосвязанные связи формируют развитие биоэкономики и могут изменяться вместе с ним.

Биоэкономика направлена на решение так называемых «сложных проблем», под которыми понимаются социально-экологические вызовы очень высокой степени сложности (см. ▶ раздел 38.1). Биоэкономика действует на стыке науки и общества. Она требует интеграции множества

различных видов знаний (например, научных, традиционных, системных, нормативных и трансформационных) и экспертных знаний, при этом она распределена между различными учреждениями, местами и дисциплинами. Поэтому исследовательское сообщество в области биоэкономики признает необходимость междисциплинарных и трансдисциплинарных подходов для поддержки перехода к устойчивой биоэкономике (например, Friedrich et al. 2021).

Междисциплинарность в биоэкономике означает обмен и диалог между академическими дисциплинами, тогда как трансдисциплинарность направлена на контекстуализацию и интеграцию различных точек зрения в более широком контексте (Knierim et al. 2018; Zeug et al. 2020). Несмотря на сложности, междисциплинарный и трансдисциплинарный подход может помочь сохранить системный взгляд и рассматривать проблемы с различных точек зрения. Поэтому для биоэкономики междисциплинарные и трансдисциплинарные исследования могут стать отправной точкой для лучшего понимания социально-экологических проблем и содействия их решению (Zeug et al.

Междисциплинарность означает интеграцию и синтез идей, методов и подходов из различных академических дисциплин для решения сложных вопросов, устранения проблем или формирования нового понимания, чего было бы трудно или невозможно достичь в рамках одной дисциплины. Междисциплинарность предполагает использование различных дисциплинарных подходов к исследованию в концептуально скоординированной манере, при которой дисциплинарные исходные предположения и исследовательские концепции («мировоззрения») становятся явными и взаимосвязанными. При междисциплинарном подходе «факты и выводы» каждой дисциплины критически оцениваются в свете «фактов» других дисциплин, и предпринимается попытка интегрировать специфические для данной дисциплины знания в более широкое целое (Schmidt 2008).

Трансдисциплинарность расширяет сферу исследований, выходя в другое измерение изучения. Помимо сосредоточения внимания на реальных проблемах, она стремится интегрировать знания непрофессионалов или неакадемические знания с научными знаниями. Трансдисциплинарность представляет собой особую форму междисциплинарности, в которой преодолеваются границы между дисциплинами и интегрируются знания и точки зрения из различных научных областей, а также из ненаучных источников (Hirsch Nadorn and Pohl 2010). Трансдисциплинарные исследования направлены на выход за пределы дисциплинарных мировоззрений с целью включения неакадемических точек зрения и экспертных знаний различных заинтересованных сторон (Pohl et al. 2021).

2021). Это предполагает понимание системы, ее компонентов и взаимосвязей, которые приводят к современным вызовам и результатам (положительным и отрицательным), а также желаемого состояния системы, как оно формулируется обществом и вписывается в более широкую экологическую систему. Определение желаемого или целевого состояния требует интеграции ожиданий и потребностей заинтересованных сторон, а также комплексного взгляда, основанного на различных исследовательских перспективах и дисциплинарных углах зрения.

В контексте биоэкономики подход к научным исследованиям и разработкам на основе междисциплинарного и трансдисциплинарного сотрудничества имеет решающее значение для получения знаний, позволяющих решать сложные реальные проблемы. Для разработки практических и реализуемых решений — таких как инновации, способствующие устойчивому использованию ресурсов и моделям циркулярной экономики — необходимо выйти за пределы традиционных дисциплинарных границ. Это предполагает интеграцию знаний из различных областей, таких как биология, экономика и инженерия, а также привлечение не научных точек зрения, включая мнения заинтересованных сторон из промышленности, политиков и местных сообществ. Благодаря вовлечению заинтересованных сторон из общества научные исследования могут быть более эффективно направлены на решение реальных проблем, таких как сокращение объема отходов, увеличение производства биомассы и обеспечение долгосрочной экологической устойчивости. В конечном итоге интеграция этих разнообразных точек зрения гарантирует, что биоэкономические решения будут как научно обоснованными, так и социально значимыми.

► В главе 37 дается подробное исследование междисциплинарности и трансдисциплинарности, объясняя, как эти концепции выходят за пределы традиционных академических границ. В этой главе основное внимание уделяется обоснованию междисциплинарных и трансдисциплинарных исследований в области био-экономике (► раздел 37.1), особенностях междисциплинарного и трансдисциплинарного исследовательского процесса (► раздел 37.2), а также методах и инструментах, обеспечивающих эффективность и результативность сотрудничества (► раздел 37.3). В нем также освещаются роли и обязанности исследователей при участии в междисциплинарных и трансдисциплинарных исследованиях (► раздел 37.4).

Практические последствия:

- Обеспечение инклюзивности и справедливости в трансформации биоэкономики путем соблюдения права всех людей и содействие гендерному равенству и активному участию заинтересованных сторон являются ключевыми принципами
- В целях междисциплинарного сотрудничества взаимодействуйте с коллегами-исследователями таким образом, чтобы были взаимно учтены, а знания создавались и интегрировались совместно
- Для практического применения трансдисциплинарного подхода привлекайте всех социальных акторов при

- согласовании целей и точек зрения
- разработка новых решений
- внедрение и оценка решений.

Следует помнить, что участие субъектов может быть обеспечено с помощью различных форматов и средств.

3.5 Комплексный системный подход в биоэкономике

Биоэкономика включает в себя процессы и взаимосвязи, связанные с производством, поставкой и преобразованием биомассы в широкий спектр продуктов и услуг. Социально-экономические и экологические системы, в которых функционирует биоэкономика, включают в себя множество природных и социальных элементов. Соответственно, биоэкономике можно охарактеризовать как социально-экологическую систему, объединяющую людей, технологии, биологические процессы и экологические системы, а также их услуги для удовлетворения потребностей людей на определенной географической территории (Wohlfahrt et al. 2019; Vargas-Carpintero 2025; Schlecht et al. 2025).

Системные концепции имеют многостороннее применение в биоэкономике, например:

- система производства биоресурсов (см., например, ► гл. 5, 6, 7, 8 и 9)
- система цепочки создания стоимости, включающая участников, занимающихся производством, переработкой, маркетингом и потреблении биопродуктов продуктов (см. ► гл. 4)
- система инноваций для поддержки изменений и трансформаций посредством целенаправленных идей и мероприятий.

Теория систем представляет собой междисциплинарный подход к изучению абстрактной организации явлений, независимо от их сущности, типа или пространственно-временных масштабов существования. Она исследует как принципы, общие для всех сложных систем, так и (как правило, математические) модели, которые можно использовать для их описания (Pohl et al. 2021).

Основными компонентами системы являются: (i) элементы, которые связаны (ii) отношениями и отделены (iii) границами от (iv) окружающей среды; системы не привязаны к масштабу, но могут быть вложенными, так что системы могут содержать (v) подсистемы или быть частью всеобъемлющей системы систем (Schiere et al. 2004). Кроме того, система представляет собой ментальную модель, которая может служить аналитическим руководством, если она адаптирована и настроена для конкретной ситуации (Ison 2012).

Для получения всеобъемлющего обзора концепции системного мышления см. первое издание

книги по биоэкономике (► разд. 4.3 в Knierim et al. 2018).

- © Хотите узнать больше о системном мышлении? Посмотрите Видео 3.3, видео из нашего МООС «Концепции устойчивой биоэкономики» (2021), где теория систем объясняется более подробно. видео 3.3, видео из нашего МООС «Концепции устойчивой биоэкономики» (2021), где теория систем объясняется более подробно.

Системы, которые мы рассматриваем, как правило, представляют собой производственные системы или сети поставок. В системе биоэкономики создание стоимости можно представить в виде упрощенной цепочки создания стоимости, которую можно рассматривать как систему анализа на микроуровне: от производства сырья, через переработку переработку, до получения продуктов (см. ► Гл. 4). На первый взгляд, компоненты биоцепочки общие для других производственных систем, таких как системы, основанные на ископаемых ресурсах. Однако, в отличие от ископаемого топлива, биомассу нельзя «просто» собрать или транспортировать. Производство биомассы распределено по всему миру, зависит от различных биофизических условий (например, климата, почвы, доступности воды) и приводит к появлению широкого разнообразия биомассы (например, видов растений). Наши нынешние линейные модели («добыча-производство-отходы») сосредоточены на изучении конкретных компонентов или деталей путем изолирования объектов исследования. Однако, игнорируя динамические взаимодействия и нелинейный, сложный контекст, мы полагаемся в основном на линейное мышление и отдельные области знаний (например, технико-экономические знания), даже несмотря на то, что сталкиваемся со сложными системами (Onyeali et al. 2023).

Системное мышление доказало свою полезность как подход, стремящийся отойти от линейного мышления для моделирования сложности. Изначально оно расширяет модель простой причинно-следственной связи (причина-следствие) за счет введения циклов обратной связи (взаимодействия) и связей с другими сущностями. Контуры обратной связи и связи между несколькими элементами необходимы, но недостаточны для того, чтобы охарактеризовать группу элементов как систему. В системах элементы взаимодействуют таким образом, что возникают новые коллективные модели и закономерности, а более крупные образования обладают свойствами, которых нет у отдельных элементов («система — это больше, чем сумма ее частей»). Системы биоэкономики являются многоуровневыми, формируя и формируемыми социальными и экологическими системами на локальном (например, трансформация ландшафта) и глобальном (например, выбросы парниковых газов) уровнях (Wohlfahrt et al. 2019). Биомасса состоит из разнообразных компонентов (например, лигноцеллюлоза, белки, сахара, крахмал, масла), которые фракционируются в процессе переработки для различных целей (Kircher 2021). Пространственное распределение, временные зависимости и взаимодействие между секторами и участниками (фермерами, промышленными предприятиями, политиками, исследователями и потребителями) увеличивают сложность биоэкономики. Эти участники действуют в рамках взаимосвязанных систем и оказывают на них влияние — от местных сообществ до глобальных рынков. Помимо материальных потребностей, которые система биоэкономики стремится удовлетворить, другие цели и функции включают в себя замену невозобновляемых ресурсов биомассой, доступной на местном уровне, замкнутые циклы использования материалов и энергии (т. е. циркулярность) и повышение эффективности использования биомассы (т. е. каскадное использование биомассы, подход биопереработки) (Diaz-Chavez et al. 2020; Kardung и др., 2021; Wohlfahrt и др., 2019).

Как объясняется в ► разд. 3.3, условия, определяющие цикличность потоков биомассы, отличаются от условий, определяющих циркулярность потоков металлов и минералов. Биоразлагаемость накладывает ограничения на хранение и повторное использование материалов на биологической основе, а утилизация или захоронение биоразлагаемых отходов создает иные экологические и социальные проблемы, чем захоронение минералов и металлов. Торговля и использование биомассы также основаны на других функциональных характеристиках: например, пищевая ценность, энергетическая ценность, прочность конструкции, содержание воды и не поддающиеся количественной оценке свойства, такие как вкус, запах

и внешний вид. Взаимодействие этих факторов привело к появлению множества практик циркулярной биоэкономики, включая извлечение питательных веществ из сточных вод, переработку бумаги и производство энергии из биогаза и отходов лесопильных заводов. Эти практики объединяют несколько систем (т. е. связывают различные секторы), включая секторы водоснабжения и санитарии, продовольственного обеспечения и деревянного строительства. Следовательно, системная интеграция, также называемая межотраслевым взаимодействием, является фундаментальным компонентом биоэкономики (Schipfer et al. 2024).

Сложность системы обусловлена свойствами ее элементов, их взаимосвязями и взаимодействиями системы с окружающей средой. Системы биоэкономики, встроенные в местные экосистемы, а также в более широкую природную среду и социальный контекст, требуют системного подхода для понимания их элементов, взаимосвязей и результатов (Vargas-Hernandez et al. 2018; Schlaile et al. 2025; Vargas-Carpintero 2025).

© Ввиду междисциплинарного разнообразия системных теорий существует множество способов дифференциации системного понятия. ► В главе 37 представлен ряд атрибутов, которые обычно используются для различения систем и полезны в контексте междисциплинарных и трансдисциплинарных исследований, а именно: открытость, цели и функции, а также оценка системы.

При выявлении и изучении решений в системе биоэкономики нам необходимо учитывать все различные части этих сложных систем. Системный подход необходим для понимания соответствующего контекста, рассмотрения множества точек зрения и появления различных решений

. Таблица 3.1 показывает некоторые примерные факторы и характеристики системы биоэкономики

. Целью целостного системного подхода является понимание и оптимизация сложных взаимосвязей и циклов обратной связи между различными участниками и элементами, такими как природные ресурсы, производственные процессы, модели потребления, управление отходами и социально-экономические факторы в региональном контексте (рис. 3.8).

Целостное понимание этих взаимосвязей может помочь определить стратегии по продвижению

переход к более устойчивым системам. Таким образом, системное мышление обладает огромным потенциалом для углубления нашего понимания сложных ситуаций, распознавания взаимозависимостей и взаимосвязей, а также для активного соотнесения наших собственных восприятий и суждений с восприятиями и суждениями других людей. Для этого необходимо рассмотреть, как можно объединить новые инновации в биоэкономике, а не сосредотачиваться на отдельных элементах, анализируя текущее состояние системы и факторы, определяющие ее развитие

Целостное системное мышление в биоэкономике означает интегративный подход, учитывающий всю систему биологических, экономических и социальных взаимодействий.

(Darnhofer 2021).

Применение целостной системной перспективы к анализу систем биоэкономике также подразумевает использование многоуровневого подхода, учитывающего взаимосвязи на разных уровнях: от микроуровня (т. е. система ведения сельского хозяйства, цепочка создания стоимости) и мезоуровня (т. е. ландшафт, регион, сеть создания стоимости) до макроуровня (т. е. национальный и глобальный уровни). Существующие

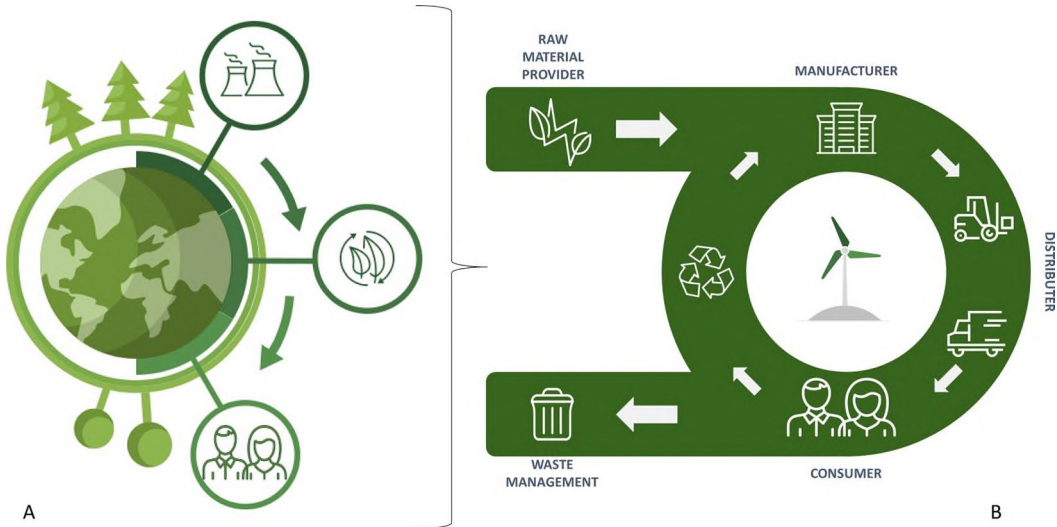
подходы и проекты, как правило, основаны на ограниченном представлении о биоэкономике, например, сосредоточены на отдельных биооснованных цепочках создания стоимости и, таким образом, не обеспечивают интегрированного подхода к рассматриваемой системе биоэкономики. Такая узкая перспектива может привести к чрезмерному упрощению, что может породить противоречия, которые дискредитируют потенциал или игнорируют потенциальные риски мер, направленных на продвижение биоэкономики.

Вместо того чтобы сосредотачиваться на отдельных компонентах (например, производстве биомассы), системный подход позволяет проанализировать взаимосвязь и взаимозависимость элементов биооснованной цепочки создания стоимости. Целостное системное мышление означает, что устойчивая система биоэкономики учитывает не только основные компоненты и технологическую перспективу (производство биомассы, переработка, продукты и конечное использование), но и местные социально-экономические и экологические факторы, а также общий контекст (Vargas-Carpintero 2025; Schlecht et al. 2024)

(см. ► гл. 4). Например, вместо того чтобы рассматривать сельскохозяйственные системы исключительно как поставщиков биомассы в цепочке создания стоимости, анализ и проектирование подсистем биооснованных цепочек создания стоимости требуют учета взаимосвязей внутри них (на уровне фермерского хозяйства, ландшафта и

○ Таблица 3.1 Примерные факторы и характеристики, влияющие на систему биоэкономике

Зависимость от временных масштабов	Временные масштабы производства сырья из биомассы и природных циклов могут сильно различаться, что приводит к разнообразию производственных циклов: например, однолетние или многолетние культуры в сельском хозяйстве; 10–100 лет в лесохозяйственных системах.
Пространственное распределение	Ископаемые ресурсы распределены по миру неравномерно. В отличие от них, биологические ресурсы встречаются повсюду в мире. Производство биомассы распределено по всему миру в силу взаимодействия специфических для каждого региона биофизических факторов, влияющих на продуктивность (например, почва, климат).
Географические условия	Биоэкономика основана на различных географических условиях. Эта региональность прослеживается, например, в производстве биомассы. Она зависит от методов ведения сельского хозяйства, рабочей силы, биофизических условий, таких как факторы, связанные с почвой (наличие воды и питательных веществ), и климата, которые различаются от региона к региону. Влияние оказывают также логистические вопросы территориального масштаба, такие как расположение источников водоснабжения или дорог.
Разнообразие и изменчивость	Важными характеристиками систем биоэкономике являются альтернативные ресурсы и гибкость процессов. Одно и то же сырье может использоваться для получения множества продуктов (подход биопереработки), выполняя при этом множество функций.
Взаимодействия	На систему биоэкономике влияют связи и отношения между различными элементами биофизических, технологических, социально-экономических и институциональных систем, а также между секторами и участниками (например, фермерами, лесоводами, производителями энергии, политиками, учеными и местными сообществами).



○ Рис. 3.8 Системы биоэкономики встроены в более широкий (специфичный для региона) контекст: а) в глобальном масштабе через распределенные системы производства биомассы и б) на местном уровне через компоненты и участников цепочки создания стоимости

региональных уровнях) и их контекста (внесельскохозяйственная деятельность, природная среда, использование биомассы, переработка и потребление) (Darnhofer 2021).

– Использовать такие инструменты, как подход, основанный на учете жизненного цикла, при анализе и проектировании систем биоэкономики (см. ▶ раздел 41.1).

• Практические последствия:

- Используйте системное мышление для стимулирования изменений и содействия процессам трансформации
- Понимать систему, ее компоненты, а также участников внутри и вне систему производства
 - Производство биомассы
 - Переработка биомассы
 - Продукты на биологической основе
 - Контекстуальные факторы, элементы и участники
- Выявление и определение общих точек соприкосновения: цели и задачи, объединяющие различные точки зрения точек зрения
- Одновременное выявление множества возможностей и стратегий
- Оценить варианты для определения (регионально) специфических решений
 - Использовать комплексный набор показателей (количественных и качественных), направленных на удовлетворение требований устойчивости и циркулярности в местном контексте
 - Анализ системы биоэкономики должен основываться на биологических, экологических, социальных, экономических, институциональных и технологических системах

? Вопросы

1. Какую роль играет системное мышление в биоэкономике и почему необходимо выйти за рамки линейных моделей?
2. Каковы потенциальные экологические компромиссы перехода к биоэкономике?
3. Как биоэкономика согласуется с принципами устойчивости и каким образом она может способствовать как смягчению последствий изменения климата, так и адаптации к ним?
4. В чем заключается основная цель циркулярности в рамках циркулярной экономики и насколько эта концепция согласуется с целями биоэкономики?
5. Каким образом биоперерабатывающие заводы способствуют достижению целей циркулярной биоэкономики и в чем заключаются их основные преимущества для устойчивого управления ресурсами?
6. Почему интеграция различных научных дисциплин и видов знаний имеет решающее значение для развития устойчивой биоэкономики?

7 Ответы

1. Системное мышление имеет решающее значение в биоэкономике, поскольку позволяет нам

- понимать и моделировать сложность взаимосвязанных процессов и субъектов в экологическом, социальном и технологическом контекстах. В отличие от линейных моделей, которые сосредоточены на изолированных причинно-следственных связях, системное мышление учитывает циклы обратной связи, взаимосвязи и возникающие свойства, помогая выявить, как взаимодействия между компонентами порождают коллективные закономерности, которые отдельные элементы сами по себе не демонстрируют. Этот подход необходим для понимания и управления многоуровневыми последствиями биоэкономики, такими как трансформация ландшафта и выбросы парниковых газов, которые проявляются как на местном, так и на глобальном уровнях.
2. Переход к биоэкономике может снизить зависимость от ископаемого топлива, но он также сопряжен с экологическими компромиссами, такими как увеличение использования земель и водных ресурсов для производства биомассы, потенциальная утрата среды обитания и воздействие на биоразнообразие. Кроме того, крупномасштабное сельское хозяйство для производства биоматериалов может привести к деградации почв, загрязнению воды и выбросам парниковых газов, если оно не будет вестись на основе принципов устойчивого развития. Обеспечение баланса между этими факторами имеет решающее значение для того, чтобы экологические выгоды перевешивали потенциальные минусы.
 3. Биоэкономика соответствует принципам устойчивости благодаря продвижению систем, которые являются регенеративными, разнообразными и способными адаптироваться к потрясениям — ключевым характеристикам устойчивости. Она способствует смягчению последствий изменения климата посредством улавливания углерода, производства чистой энергии и создания поглотителей углерода, таких как лесопосадки. Что касается адаптации к изменению климата, биоэкономика продвигает устойчивые к климатическим изменениям методы ведения сельского хозяйства, такие как ресурсосберегающее сельское хозяйство, агролесоводство и органическое земледелие, которые помогают экосистемам и сообществам противостоять изменению климата. Интегрируя эти стратегии, биоэкономика поддерживает как экологическую стабильность, так и устойчивое развитие в условиях социально-экономических и климатических изменений.
 4. Основная цель циркулярности в циркулярной экономике заключается в минимизации потребления ресурсов и образования отходов путем замедления, закрытия и сужения материальных и энергетических циклов посредством таких процессов, как переработка, повторное использование и экодизайн. Этот подход носит регенеративный характер и направлен на снижение воздействия на окружающую среду и сохранение ценности материалов. Циркулярность хорошо согласуется с биоэкономикой благодаря содействию эффективному использованию биомассы и преобразованию отходов в новые ресурсы, что позволяет максимально повысить устойчивость биологических материалов. Эта синергия между циркулярностью и биоэкономикой, называемая «циркулярной биоэкономикой», подчеркивает более эффективное использование природных ресурсов и создание ценности из отходов, способствуя устойчивому переходу экономических систем.
 5. Биоперерабатывающие заводы имеют важное значение для циркулярной биоэкономики, поскольку они преобразуют биомассу (включая сельскохозяйственные отходы и потоки отходов) в ценные биопродукты, такие как биотопливо, биохимикаты и биоэнергия. Используя интегрированные технологии, биоперерабатывающие заводы максимально эффективно используют биомассу и сводят к минимуму количество отходов, тем самым способствуя устойчивому управлению ресурсами. В циркулярной биоэкономике биоперерабатывающие заводы помогают замкнуть циклы, преобразуя отходы в ресурсы, такие как биологические удобрения, которые поддерживают сельское хозяйство. Используя местную биомассу, биоперерабатывающие заводы снижают зависимость от ископаемого топлива и способствуют региональной ресурсной безопасности, создавая экономические, экологические и социальные выгоды, которые имеют решающее значение для достижения целей устойчивого развития.
 6. Устойчивое развитие биоэкономики требует интеграции множества научных дисциплин, поскольку оно направлено на решение сложных «неразрешимых проблем», в которых переплетаются взаимозависимые социальные, экологические и экономические факторы. Например, сельскохозяйственная наука вносит вклад в виде знаний об устойчивых методах ведения сельского хозяйства, а экономика — в виде понимания динамики рынка и распределения ресурсов. Интеграция научных, торговых

Дополнительные, нормативные и трансформационные знания из различных областей позволяют более полно понять вызовы биоэкономики, способствуя разработке устойчивых решений и содействуя эффективному сотрудничеству между различными участниками.

Ссылки

- Blomsma F, Brennan, G (2017) Возникновение циркулярной экономики: новая концепция продления продуктивности ресурсов. *J Indus Ecol* 21(3):603–614. <https://doi.org/10.1111/jieec.2017.21.issue-3>, <https://doi.org/10.1111/jieec.12603>
- Бракко С., Тани А., Чаличоглу О., Гомес Сан-Хуан М., Богдански А. (2019) Показатели для мониторинга и оценки устойчивости биоэкономики: обзор и предлагаемый путь вперед. Рабочий документ по управлению окружающей средой и природными ресурсами, т. 77, 1-е изд. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, Рим, Италия. ISBN 978-92-5-131796-9
- Бранд Ф. (2009) Переосмысление критического природного капитала: экологическая устойчивость и устойчивое развитие. *Ecol Econ* 68(3):605–612. <https://doi.org/10.1016/j.ecole-con.2008.09.013>
- Брингезу С., Бансе М., Ахманн Л., Безама Н.А., Биллинг Э., Бишоф Р., Бланке К., Бросовски А., Брюнинг С., Борчерс М., Будзински М., Циффка К.-Ф., Дистелькамп М., Эгенольф В., Флауте М., Генг Н., Гизекинг Л., Грасс Р., Хенненберг К., Херинг Т., Йост С., Йохем Д., Краузе Т., Лутг К., Махмюллер А., Махро Б., Майер С., Мангау У., Майзель К., Мозенфехтель У., Ноке А., Рауссен Т., Рихтер Ф., Шалдак Р., Швайнде Й., Тран Д., Углик М., Веймар Х., Винмер Ф., Видра С., Цойг В. (2020) *Пилотный отчет по мониторингу немецкой биоэкономики*. Центр исследований экологических систем (CESR). Университет Касселя, Кассель. <https://doi.org/10.17170/kobra-202005131255>
- Браун Б. Дж., Хансон М. Э., Ливерман Д. М., Меридес Р. В. (1987) Глобальная устойчивость: к определению. *Environ Manag* 11(6):713–719. <https://doi.org/10.1007/BF01867238>
- Кэмпбелл-Джонстон К., Вермеулен В. Дж. В., Райке Д., Брулло С. (2020) Циркулярная экономика и каскадирование: к созданию концептуальной основы. *Resour Conserv Recycl X* 7100038. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100038>
- Carrez D, Van Leeuwen P (2015) Биоэкономика: циркулярная по своей природе. *Eur Files* 38:34–35
- Carus M, Dammer L (2018) Циркулярная биоэкономика — концепции, возможности и ограничения. *Indus Biotechnol* 14(2):83–91
- Касио Дж. (2009) Устойчивость. *Foreign Policy* 172:92
- Черубини Ф. (2010) Концепция биоперерабатывающего завода: использование биомассы массу вместо нефти для производства энергии и химических веществ
- Energy Convers Manag* 51:1412–1421. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.01.015>
- Corvellec H, Stowell AF, Johansson N (2022) Критика циркулярной экономики. *J Ind Ecol* 26(2):421–432. <https://doi.org/10.1111/jieec.13187>
- D'Amato D, Droste N, Allen V, Kettunen M, Lähtinen K, Korhonen J, Leskinen P, Matthies BD, Toppinen A (2017) Зеленая, циркулярная, биоэкономика: сравнительный анализ путей обеспечения устойчивости. *J Clean Prod*. Elsevier Ltd 168:716–734
- Дарнхофер И. (2021) Устойчивость, или как помочь сельскохозяйственным системам преодолеть волны неожиданных изменений? *Agric Syst* 187:102997. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102997>
- Де Бези М., Маккормик К. (2015) На пути к биоэкономике в Европе: национальные, региональные и отраслевые стратегии. *Sustainability* 7(8):10461–10478
- Диас-Чавес Р., Мортенсен С., Викман А. (2020) Биоэкономика: использование природных и человеческих ресурсов для достижения устойчивости. Доступно по адресу: <https://www.sei.org/publications/bioeconomy-natural-human-resources-sustainability>
- Диетц Т., Бёрнер Дж., Фёрстер Дж. Дж., фон Браун Дж. (2018) Управление биоэкономикой: глобальное сравнительное исследование национальных стратегий в области биоэкономики. *Sustainability* 10(9):3190
- Egenolf V, Bringezu S (2019) Концептуализация системы показателей для оценки устойчивости биоэкономики. *Sustainability* 11(2):443
- Молодежные послы ЕС по биоэкономике (2024) «Видение биоэкономики для молодежи». Бартманн Р., Бертаччи С., Бифоне М., Чантар Х., Когли Д., Дирдайте У., Эскорсио Р., Йёги К., Лазар Дж., Мрозински О., Нахтергаэле П., Шаберт П., Сциоти К., Верл К. и Зайцева Д. (2024). Европейский молодежный портал, Европейский союз. Доступно по адресу: https://youth.europa.eu/get-involved/sustainable-development/whats-youth-vision-bioeconomy_en
- Европейская комиссия (2022) Отчет о ходе реализации Стратегии ЕС в области биоэкономики — Политика ЕС в области биоэкономики: подведение итогов и будущие направления развития (COM(2022) 283 final)
- Европейское агентство по окружающей среде (2016) Циркулярная экономика в Европе — Развитие базы знаний. Доступно по адресу: <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>
- ФАО (2018) Оценка вклада биоэкономики в экономику стран: краткий обзор национальных рамок. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, Рим, Италия. ISBN 978-92-5-130603-1
- Фиксель Дж., Бакши Б.Р. (2023) Проектирование с учетом устойчивости и экологической устойчивости: интегрированный системный подход. В: Бакши Б.Р. (ред.) Инженерия и экосистемы. Springer International Publishing, с. 469–500. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35692-6_21
- Фридрих Дж., Банкер И., Утес С., Цшайшлер Дж. (2021) Потенциал биоэкономических инноваций в содействии социально-экологической трансформации: тематическое исследование в системе животноводства. *J Agric Environ Ethics* 34:24. <https://doi.org/10.1007/s10806-021-09866-z>

- Фриче У., Брунори Г., Кьярамонти Д., Галанакис К., Хеллверг С., Мэтьюз Р., Пануцу К. (2020) Будущие переходы биоэкономики к устойчивому развитию и климатически нейтральной экономике — итоговый отчет по синтезу знаний. Управление публикаций Европейского союза, Люксембург
- Гавель Э., Панини Н., Хагеманн Н. (2019) Путь перехода к биоэкономике — решающая роль устойчивости. *Sustainability* 11(11):3005
- Гейсдорфер М., Саваже П., Бокен Н.М.П., Хультинк Э.Дж. (2018) Циркулярная экономика — новая парадигма устойчивого развития? *J Clean Prod* 143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Джампьеро М., Фунтович С.О. (2020) От элитной народной науки к политической легенде о циркулярной экономике. *Environ Sci Pol* 109:64–72. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.012>
- Гётц М., Ласк Дж., Левандовски И., Крузе А. (2023) Сравнительные исследования LCA моделируемых биоперерабатывающих заводов HMF на основе кукурузы и мискантуса как пример использования биомассы первого и второго поколения в качестве инструмента для разработки технологических процессов. *GCB Bioenergy* 15(8):n/a–n/a. <https://doi.org/10.1111/gcbb.13079>
- Хайдер М. Н., Лю Ц.-Г., Табиш Т. А. и др. (2022) Рекуперация питательных веществ из сточных вод в биомассу водорослей с последующей каскадной переработкой в различные продукты в рамках парадигмы циркулярной биоэкономики. *Fermentation* 8:650. <https://doi.org/10.3390/fermentation8110650>
- Хазенхайт М., Гердес Х., Киресева З., Бекман В. (2016) Краткий отчет о социальных, экономических и экологических последствиях биоэкономики. Европейский Союз
- Хирш Хадорн Г.Б., Поль К. (2010) Решение проблем посредством трансдисциплинарных исследований. В: Р. Фродеман, Дж.Т. Кляйн, К. Митчем (ред.), Оксфордский справочник по междисциплинарности. Оксфорд, Великобритания: Oxford University Press
- МГЭИК (2018) Резюме для политиков. В: Массон-Дельмонт В., П. Чжай, Х.-О. Пёртнер, Д. Робертс, Дж. Скеа, П.Р. Шукла, А. Пирани, В. Муфума-Окия, К. Пеан, Р. Пидкок, С. Коннорс, Дж.Б.Р. Мэтьюз, Ю. Чен, С. Чжоу, М.И. Гомис, Э. Лоннуа, Т. Мэйкок, М. Тигнер и Т. Уотерфилд (ред.) «Глобальное потепление на 1,5 °С». Специальный доклад МГЭИК о последствиях глобального потепления на 1,5 °С по сравнению с доиндустриальным уровнем и соответствующих траекториях глобальных выбросов парниковых газов в контексте усиления глобальных мер реагирования на угрозу изменения климата, устойчивого развития и усилий по искоренению бедности. Cambridge University Press, Кембридж, Великобритания, и Нью-Йорк, штат Нью-Йорк, США, с. 3–24. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>
- Исон Р. (2012) Системная практика: повышение эффективности систем в исследованиях сельскохозяйственных систем. В: Дарнхофер И., Гиббон Д., Дедье Б. (ред.) Сельскохозяйственные системы в XXI веке: новая динамика. Springer, Дордрехт, с. 141–157
- Кардунг М., Цингиз К., Костенобль О., Делахай Р., Хейман В., Ловрич М., ван Леувен М., М'барек Р., ван Мейл Х., Пиотровски С., Ронзон Т., Заур Дж.,
- Верхог Д., Веркерк П. Дж., Врачиоли М., Весселер Дж. Дж. Х., Чжу Б. С. (2021) Развитие циркулярной биоэкономики: движущие силы и индикаторы. *Sustainability* 13(1):413
- Кизель А., Левандовски И. (2017) Мискантус как субстрат для биогаза — устойчивость к срезке и потенциал для анаэробного сбраживания. *GCB Bioenergy* 9(1):153–167
- Кирхер М. (2021) Биоэкономика — текущее состояние и будущие потребности промышленных цепочек создания стоимости. *New Biotechnol* 60:96–104. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.09.005>
- Клауэр Б., Шиндлер Х. (2020) Устойчивость и биоэкономика. В: Тран Д., Мозенфехтер У. (ред.) Система биоэкономики. Springer, Берлин, с. 362–369
- Книрим А., Лашевски Л., Бояринцева О. (2018) Междисциплинарность и трансдисциплинарность в биоэкономике. В: Левандовски И. (ред.) Биоэкономика. Формирование перехода к устойчивой биоэкономике. Springer, Швейцария, с. 39–72
- Ланге С., Флориан, Керн Ф., Пойкерт Дж., Сантариус Т. (2021) Разгадка парадокса Джевонса: многоуровневая типология эффектов отскока и механизмов. *Energy Res Soc Sci* 74101982. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101982>
- Ласк Дж., Вагнер М., Триндаде Л.М., Левандовски И. (2018) Оценка жизненного цикла производства этанола из мискантуса: сравнение технологических путей производства на двух европейских площадках. *GCB Bioenergy* 11:269–288. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12551>
- Lewandowski I, Clifton-Brown J, Kiesel A, Hastings A, Iqbal Y (2022) Мискантус. В: Alexopoulou E (ред.) Многолетние травы для биоэнергетики и биопродуктов. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812900-5.00002-3>
- Левандовски И. (2018) Контекст. В: Левандовски И. (ред.) Биоэкономика: формирование перехода к устойчивой биоэкономике, 1. Springer/Университет Хоэнхайма, Берлин/Гейдельберг/Штутгарт
- Левандовски И., фон Коссель М., Винклер Б., Бауэрле А., Годе Н., Кизель А., Левин Э., Магенау Э., Мартинг Видаурре Н.А., Мюллер Б., Шлехт В., Тумм У., Тренкнер М., Варгас-Карпинтеро Р., Вайкерт С., Вейк Дж., Райнмут Э. (2024) Адаптированная система показателей для оценки потенциального вклада подходов биоэкономики в устойчивость сельскохозяйственных систем. *Adv Sustain Sys* 8(7). <http://doi.org/10.1002/adsu.v8.7>. <https://doi.org/10.1002/adsu.202300518>
- Локк Х., Рокстрём Дж., Баккер П., Бапна М., Гоф М., Хилти Дж., Ламбертини М., Моррис Дж., Полман П., Родригес К.М., Сампер К., Санджаян М., Забей Э., Зурита П. (2021) Мир, благоприятный для природы: глобальная цель для природы. <https://www.naturepositive.org>
- Макдоноу У., Браунгарт М. (2002) От колыбели до колыбели: переосмысление того, как мы создаем вещи. North Point Press.
- Muscat A, De Olde EM, Ripoll-Bosch R, Van Zanten HNE, Metzger TAP, Termeer CJAM, Van Ittersum MK, De Boer IJM (2021) Принципы, движущие силы и

- Возможности циркулярной биоэкономики. *Nat Food* 2(8):561–566
- Онъёали В., Шлайле М.П., Винклер Б. (2023) Навигация по биокосмосу: краугольные камни биоэкономической утопии. *Land* 12(6):1212. <https://doi.org/10.3390/land12061212>
- Пеленк Дж., Балет Дж. (2015) Сильная устойчивость, критический природный капитал и подход, основанный на способностях. *Ecol Econ* 112:36–44. <https://doi.org/10.1016/j.ecole-con.2015.02.006>
- Pfau SF, Hagens JE, Dankbaar B, Smits AJM (2014) Видения устойчивости в исследованиях в области биоэкономики. *Sustainability* 6(3):1222–1249
- Pohl C, Klein JT, Hoffmann S, Mitchell C, Fam D (2021) Концептуализация трансдисциплинарной интеграции как многомерного интерактивного процесса. *Environ Sci Pol* 118:18–26. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.12.005>
- Пыка А., Ари Э., Альва-Феррари А., Урметцер С. (2020) Процесс перехода к биоэкономике: плавание сквозь штормы и штиль в неизвестных водах. *J Innov Econ Manag* Предварительная публикация:1110–27. <https://doi.org/10.3917/JIE.PR1.0110>
- Ричардсон К. и др. (2023) Земля за пределами шести из девяти планетарных границ. *Sci Adv* 9(37). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- Рокстрём Дж., Стеффен В., Нуун К., Перссон А., Чапин III Ф.С., Ламбин Э.Ф., Лентон Т.М., Шеффер М., Фолке К., Шеллнхубер Х.Дж., Нюквист Б., де Вит К.А., Хьюз Т., ван дер Леув С., Роде Х., Сёрлин С., Снайдер П.К., Костанца Р., Сведин У., Фалькенмарк М., Карлберг Л., Корелл Р. В., Фабри В. Дж., Хансен Дж., Уокер Б., Ливерман Д., Ричардсон К., Крутцен П., Фоли Дж. А. (2009) Безопасное рабочее пространство для человечества. *Nature* 461(7263):472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Сантьяго Д. (2007) Переосмысление определения устойчивости (7 с.). *Environ Sci Pollut Res Int* 14(1):60–66. <https://doi.org/10.1065/espr2007.01.375>
- Шлайле М.П., Фридрих Дж., Порст Л., Цшайшлер Дж. (2025) Инновации в биоэкономике и их региональная встроенность: результаты качественного исследования нескольких примеров фламанских инноваций в Германии. *Prog Econ Geogr* 3(1):100044. <https://doi.org/10.1016/j.peg.2025.100044>
- Шире Дж. Б., Гроенланд Р., Влуг А., ван Кеулен Х. (2004) Системное мышление в сельском хозяйстве: обзор. В: Рикерт К. (ред.) Возникающие вызовы для систем ведения сельского хозяйства — уроки австралийского и голландского сельского хозяйства. Корпорация по исследованиям и развитию сельских отраслей, Бартон, А.К.Т.
- Schindler D (2021) Циркулярная биоэкономика набирает обороты. Доступно по адресу: https://www.goingpublic.de/wp-content/uploads/epaper/2021_4_LS/#8,
- Шипфер Ф., Бурли П., Фриче У., Хенниг К., Стрикер Ф., Вирт М., Проскурина С., Серна-Лоайза С. (2024) Циркулярная биоэкономика: движущая сила системной интеграции. *Energy Sustain Soc* 14(1):34. <https://doi.org/10.1186/s13705-024-00461-4>
- Шмидт Дж. К. (2008) На пути к философии междисциплинарности. *Poiesis Prax* 5:53–69. <https://doi.org/10.1007/s10202-007-0037-8>
- Шульц Ф. К., Валентинов В., Рейнхардт Р. Дж., Пиес И. (2024) Эффект отскока в циркулярной экономике: переосмысление подходов к эффекту отскока и возможностей его смягчения с ордономической точки зрения. *J Indus Ecol* 28(3):374–385. <https://doi.org/10.1111/jiec.v28.3>, <https://doi.org/10.1111/jiec.13485>
- Schlecht V, Vargas-Carpintero R, Trenkner M, Duarte LM, von Ow-Wachendorf F, Lunetta R, Weik J (2024) Начав с нуля, мы достигли успеха — взгляд молодого исследователя на видение молодежи в области биоэкономики. *EFB Bioecon J* 4100072. <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2024.100072>
- Шлехт В., Варгас-Карпинтеро Р., фон Коссель М., Левандовски И. (2025) Разработка систем биоэкономики на основе малоплодородных земель — подход к проектированию и развитию биооснованных цепочек и сетей создания стоимости. *GCB Bioenergy* 17(5). <https://doi.org/10.1111/gcbb.v17.5>, <https://doi.org/10.1111/gcbb.70034>
- Стеффен В., Ричардсон К., Рокстрём Й., Корнелл С. Э., Фетцер И., Беннетт Э. М., Биггс Р., Карпентер С. Р., де Врис В., де Вит К. А., Фолке К., Гертен Д., Хайнке Й., Мейс Г. М., Перссон Л. М., Раманатхан В., Рейерс Б., Сёрлин С. (2015) Планетарные границы: ориентиры для развития человечества на меняющейся планете. *Science* 347. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1259855> Штегманн П., Лондо М., Юнгингер М. (2020) Циркулярная биоэкономика: ее элементы и роль в европейских биоэкономических кластерах. *Resour Conserv Recycl X* 6:100029. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2019.100029> Тренкнер М., Кизель А., Бауэрле А., Шометт К., Шлехт В., Курц Й., Цайтнер П., Левандовски И. (2025) Замкнутый цикл питательных веществ между городскими и сельскими районами: тематическое исследование, анализирующее технический потенциал по переработке удобрений из городских биоперерабатывающих заводов. *Biofuels Bioprod Biorefin* 19(6):2025–2046. <https://doi.org/10.1002/bbb.v19.6>, <https://doi.org/10.1002/bbb.2801>
- Убандо А.Т., Феликс К.Б., Чен В.-Х. (2020) Биоперерабатывающие заводы в циркулярной биоэкономике: всесторонний обзор. *Bioresour Technol* 299:122585. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122585>
- Комиссия ООН по окружающей среде и развитию (1987) Доклад Всемирной комиссии по окружающей среде и развитию: «Наше общее будущее». Доступно по адресу: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>,
- Варгас-Карпинтеро Р. (2025) Разработка интегрированной многокритериальной системы для оценки потенциала внедрения биооснованных цепочек и сетей создания добавленной стоимости с использованием территориального подхода. *Ind Crop Prod* 223:120104. <https://doi.org/10.1016/j.ind-crop.2024.120104>
- Варгас-Эрнандес Дж. Г., Паллагет К., Хаммер П. (2018) Биоэкономика на перепутье устойчивого развития. *Международный междисциплинарный журнал INTERthesis* 15(3):20–37. <https://doi.org/10.5007/1807-1384.2018v15n3p20>
- Велиш М., Юнгмайер Г., Карбовски А., Патель М.К., Рогульска М. (2010) Системы биопереработки — потенциальный вклад в устойчивые инновации. *Biofuels Bioprod Biorefin* Wiley 4(3):275–286

- Wohlfahrt J, Ferchaud F, Gabrielle B, Godard C, Kurek B, Loyce C, Therond O (2019) Характеристики систем биоэкономики и вопросы устойчивости на территориальном уровне. Обзор. *J Clean Prod* 232:898–909. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.385>
- Zeug W, Bezama A, Moesenfechtel U, Jähkel A, Thrän D (2019) Интересы заинтересованных сторон и их восприятие мониторинга биоэкономики с использованием рамок целей в области устойчивого развития. *Sustainability* 11(6):1511
- Zeug W, Bezama A и Thrän D (2020) На пути к целостной и интегрированной оценке устойчивости жизненного цикла биоэкономики: обзор концепций, видений и показателей (UFZ) Дискуссионный документ 7/2020). Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ). Доступно по адресу: <https://hdl.handle.net/10419/224078>
- Zeug W, Bezama A, Thrän D (2021) Концептуальная основа для внедрения целостной и интегрированной оценки устойчивости жизненного цикла региональной биоэкономики. *Int J Life Cycle Assess* 26(10):1998–2023. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01983-1>
- Zukunftsagentur Rheinisches Revier (2021) Экономическая и структурная программа для Рейнского региона будущего 1.1. Доступно по адресу: https://www.rheinisches-revier.de/media/wsp_1.1.pdf

Открытый доступ. Настоящая глава лицензирована в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает использование, обмен, адаптацию, распространение и воспроизведение в любом носителе или формате при условии указания соответствующей ссылки на оригинального автора (авторов) и источник, предоставления ссылки на лицензию Creative Commons и указания, были ли внесены изменения.

Изображения или другие материалы третьих лиц, содержащиеся в данной главе, включены в лицензию Creative Commons данной главы, если иное не указано в строке с указанием авторства материала. Если материал не включен в лицензию Creative Commons данной главы, а предполагаемое вами использование не разрешено законодательством или выходит за рамки разрешенного использования, вам необходимо получить разрешение непосредственно у владельца авторских прав.



Биоснованные цепочки и сети создания стоимости

Рикардо Варгас-Карпинтеро и Валентин Шлехт



○ Рис. 4.0 Биоснованные цепочки и сети создания стоимости. (© Рикардо Варгас-Карпинтеро)
▶ <https://doi.org/10.1007/000-hte>

Содержание

- 4.1 Биоснованная цепочка создания стоимости как интегративная структура: введение – 75**
 - 4.1.1 Актуальность и полезность концепции – 75
 - 4.1.2 Концепция биоснованной цепочки создания стоимости – 76
- 4.2 Истоки концепции биоснованной цепочки создания стоимости – 78**
- 4.3 Сеть биоснованной стоимости: за пределами линейного мышления – 79**

Дополнительная информация. Онлайн-версия содержит дополнительные материалы, доступные по адресу https://doi.org/10.1007/978-3-032-09098-0_4. Видеоролики можно просматривать по отдельности, перейдя по ссылке DOI в подписи к соответствующему рисунку или отсканировав эту ссылку с помощью приложения SN More Media.

4.4	Характеристики биооснованных цепочек и сетей создания стоимости – 80
4.4.1	Зависимость от биомассы – 81
4.4.2	Сложность биомассы – 81
4.4.3	Многоцелевое использование биомассы – 82
4.4.4	Интегрированная переработка и многопродуктовая система – 83
4.4.5	Межотраслевой характер и вовлечение множества заинтересованных сторон – 83
4.4.6	Территориальность или региональность – 84
4.4.7	Зависимость от контекста и многомерность – 85
4.4.8	Ориентация на устойчивость – 86
4.4.9	База знаний и системные инновации – 86
4.5	Проектирование и развитие биооснованных цепочек и сетей создания стоимости – 87
4.5.1	Подходы к проектированию и развитию – 89
4.5.2	Интеграция инструментов проектирования и развития с территориальным подходом – 90
	Список литературы – 93

Переход к устойчивой биоэкономике предполагает трансформацию производства в направлении создания экологической, социальной и экономической ценности. Производственная деятельность в экономических секторах организована в виде цепочек создания стоимости, в которых ценность генерируется посредством последовательности процессов, обеспечивающих доставку товаров потребителям. В контексте биоэкономики производственные системы используют биомассу в качестве основного возобновляемого сырья, преобразуют ее с помощью различных технологических решений и поставляют биопродукты и услуги. Благодаря этим видам деятельности, создающим добавленную стоимость, генерируется экономическая ценность. Стремясь сформировать многофункциональные производственные системы, биоцепочки и биосети должны оказывать положительное воздействие на окружающую среду и общество. В этой главе концепции биосовременной цепочки создания стоимости и сети представлены в качестве интегративных рамок, связывающих поставки биомассы, ее переработку, продукты и рынки. На примере формирующихся биосовременных цепочек создания стоимости и сетей будут объяснены ключевые характеристики этих систем. В этой главе подчеркивается, что для устойчивого развития и эффективности биосовременных цепочек создания стоимости и сетей необходимы как технические и организационные, так и управленческие аспекты.

Цели обучения

После изучения этой главы вы...

- ...сможете описать концепции биосовременной цепочки создания стоимости и биосети, а также определить их основные компоненты от первичного производства биомассы до конечных продуктов (см. ▶ разд. 4.1, 4.2 и 4.3).
- ...сможете описать общие характеристики биосовременных цепочек создания стоимости и сетей как части систем биоэкономики (см. ▶ раздел 4.4).
- ...уметь применять биосовременную цепочку цепочки и сети как операционные рамки для обеспечения сотрудничества между многими участниками, междисциплинарности и трансдисциплинарности, а также системного мышления в биоэкономике (см. ▶ раздел 4.5).

4.1 Биосовременная цепочка создания стоимости как интегративная структура: Введение

Биосовременные цепочки и сети создания стоимости можно рассматривать как оперативную сторону биоэкономики, как клетку более крупного организма, называемого «системой биоэкономики». Эта «клетка» сложна и опирается на биологические ресурсы, процессы и взаимосвязанных участников и заинтересованных сторон для производства биосовременных продуктов и услуг. Как и в случае с мышечными или мозговыми клетками, цепочки и сети создания стоимости должны быть адаптированы к конкретным условиям и для удовлетворения конкретных потребностей, при этом обязательным условием является вклад в социальное благополучие и восстановление окружающей среды.

4.1.1 Актуальность и полезность концепции

Стратегии биоэкономики во всем мире и их планы действий направлены на продвижение новых видов экономической деятельности, основанных на использовании возобновляемых ресурсов для достижения целей устойчивого развития на региональном, национальном и наднациональном уровнях

(см. ▶ гл. 2). Раскрытие потенциала биоэкономики с точки зрения концепции биоресурсов (см. ▶ разд. 2.3) требует создания производственных систем (т. е. цепочек создания стоимости), способных

создавать ценность путем производства, поставки и преобразования биомассы в конечные продукты и услуги (Bugge et al. 2016; Viaggi 2018).

По данным Ronzon et al. (2022), цепочки создания стоимости европейской биоэкономики генерируют 657 млрд евро добавленной стоимости, из которых 29 % приходится на сельское хозяйство и 36 % — на продукты питания, напитки и другие продукты агропромышленного производства. Эти цепочки создания стоимости обеспечивают 4,7 % ВВП ЕС и обеспечивают занятость 8,3 % рабочей силы, что делает этот сектор ключевым с социально-экономической точки зрения. Это свидетельствует о том, что биосовременные цепочки создания стоимости уже созданы для производства продуктов питания, энергии, химикатов, фармацевтических препаратов и биоматериалов, а новые разрабатываются во всем мире (Kircher, 2021). Стратегии в области биоэкономики на наднациональном, национальном и региональном уровнях направлены на создание экономической стоимости, создание

рабочих мест и улучшить экологические показатели. Здесь ключевую роль играет внедрение устойчивых биооснованных цепочек и сетей создания добавленной стоимости.

В биоэкономике цепочки создания стоимости построены на биологических ресурсах и поэтому называются «биооснованными». Этот термин обычно используется для иллюстрации и описания экономической деятельности (т. е. создание добавленной стоимости) в рамках биоэкономики. Они

имеют решающее значение для введения в действие и реализации биоэкономики, поскольку объединяют неразрывно связанные процессы использования и управления природными ресурсами, связанные с производством биомассы, а также с ее переработкой и утилизацией.

Биооснованная цепочка создания стоимости обеспечивает операционную основу, которая представляет, способствует и делает возможным (Zörb et al. 2018; Viaggi 2018; Kircher 2021):

- Связь между первичным производством биомассы, переработкой, биопродуктами и услугами, а также рынками
- Экономическую деятельность, осуществляемую множеством скоординированных участников и организаций в целях производства и использования биомассы
- Внедрение и формулирование инноваций, вытекающих из научных исследований и варьирующихся от биоразведки до новых продуктов, устойчивого управления и новых бизнес-моделей
- Системное мышление и подход, основанный на жизненном цикле, для проектирования, развития, анализа и повышения эффективности цепочки создания стоимости (см. ► Гл. 3).
- Анализ системы биоэкономики на микроуровне для улучшения создания стоимости, логистики, структуры затрат, отношений между участниками и показателей устойчивого развития.
- Анализ системы биоэкономики на мезо- и макроуровне для понимания взаимосвязей между отдельными цепочками создания стоимости на отраслевом, региональном, национальном и глобальном уровнях.

4.1.2 Концепция биооснованной цепочки создания стоимости

Производственная деятельность в экономических секторах основана на взаимозависимых отношениях между экономическими агентами. Связи между участниками, потоки материалов и товаров от добычи сырья до распределения и

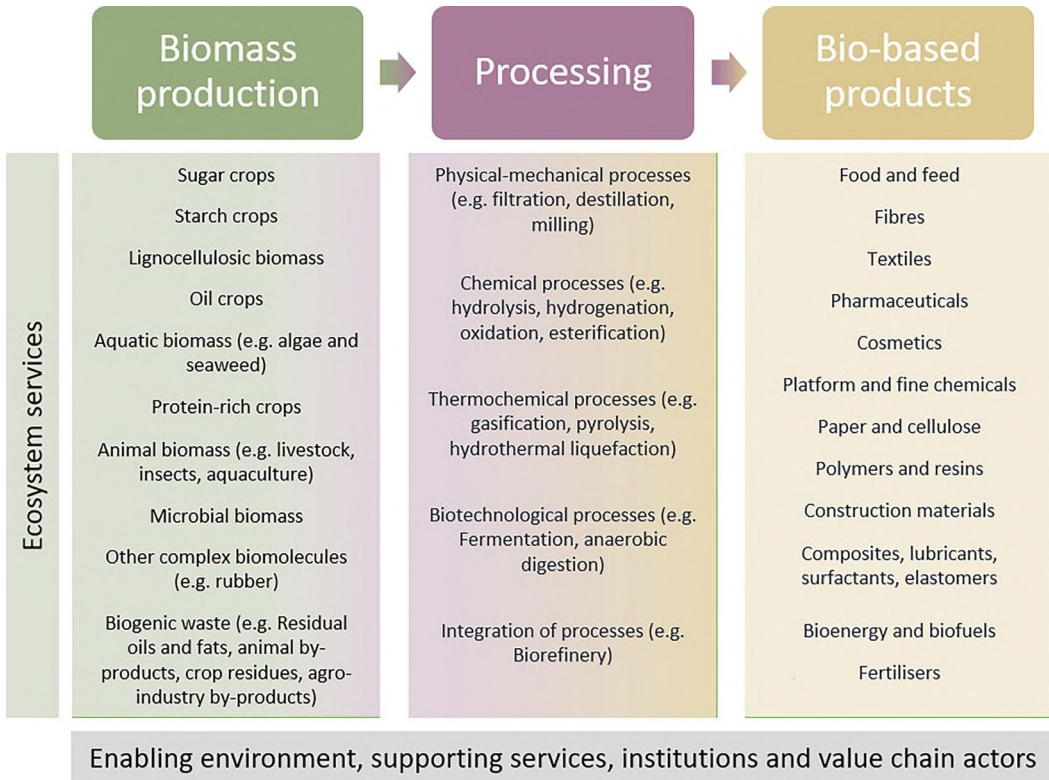
Маркетинг конечных продуктов, а также информационные потоки и торговые взаимодействия приводят к формированию сложных систем. Эти системы известны как цепочки создания стоимости, в которых участники связаны между собой и создают стоимость в рамках набора производственных процессов, результатом которых является конечный продукт и/или услуга. В контексте биоэкономики эти производственные системы называются «биооснованными цепочками создания стоимости». Давайте разберемся, что это означает.

Термин «*цепочка создания стоимости*» описывает полный спектр деятельности, необходимой для того, чтобы продукт или услуга прошли путь от зарождения идеи через различные этапы производства (включающие сочетание физической трансформации и вклада различных производственных услуг), поставки конечным потребителям и окончательной утилизации после использования. Цепочка создания стоимости основана на участниках (например, компаниях), их взаимоотношениях и механизмах координации (Kaplinsky and Morris 2002; Gereffi et al. 2005).

Биооснованные цепочки создания стоимости состоят из участников, которые осуществляют процессы создания добавленной стоимости и экономическую деятельность, используя биомассу в качестве ресурсной базы. В этих производственных системах фермеры, переработчики и дистрибьюторы взаимодействуют и непосредственно создают добавленную стоимость в скоординированной форме (Gereffi et al. 2005). Косвенные участники, такие как поставщики ресурсов и услуг, исследователи и регулирующие органы, поддерживают систему и создают благоприятные условия для ее функционирования (Gereffi et al. 2005). Помимо прямых и косвенных участников цепочки создания стоимости, к ключевым заинтересованным сторонам в биооснованных цепочках создания стоимости относятся работники, местное сообщество, потребители и общество (Marting Vidaurte et al. 2020). Биооснованная цепочка создания стоимости описывается как «последовательность процессов от производства биомассы до биопродукта наряду с возможностями для создания стоимости, включая экономическую, социальную и экологическую ценность» (Lewandowski 2015). Упрощенная

структура биооснованной цепочки создания стоимости состоит из трех основных компонентов или строительных блоков: производство биомассы, переработка биомассы и биопродукты (Zörb et al. 2018), поддерживаемые экосистемными услугами и участниками цепочки создания стоимости

, как показано на рис. 4.1.



○ Рис. 4.1 Упрощенная структура биоснованной цепочки создания стоимости с ее основными компонентами (Адаптировано из Iffland et al. 2015 и Abdulsamad et al. 2013)

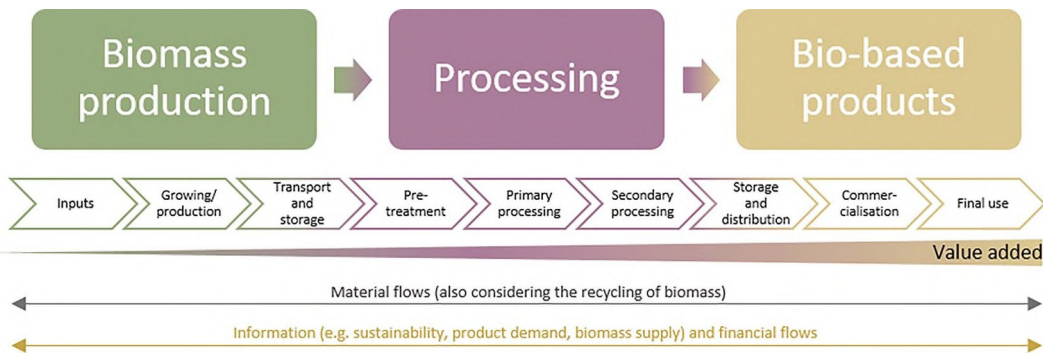
Биоснованные цепочки создания стоимости базируются на сочетании природных ресурсов (например, биологических организмов, почвы, света, воды, экосистемных услуг, минералов и т. д.), технологических вложений (например, сельскохозяйственных культур, систем земледелия, методов уборки урожая и послепосевной обработки, технологий переработки, биопереработки, транспорта и т. д.), прямых и косвенных участников цепочки создания стоимости (организованных и координируемых через структуры управления цепочкой создания стоимости) и вспомогательных услуг (т. е. знаний, нормативных актов, финансирования, сертификации и т. д.).

Биоснованная цепочка создания стоимости представляет собой взаимосвязанную последовательность процессов, создающих добавленную стоимость, осуществляемых скоординированными участниками от производства биомассы до конечного биопродукта или услуги, включая утилизацию/переработку, с целью создания экологической, социальной и экономической ценности (Kaplinsky and Morris 2002; Gereffi et al. 2005; Lewandowski 2015).

Концепция биоснованной цепочки создания стоимости актуальна, поскольку она описывает сторону предложения биоэкономики и процессы создания добавленной стоимости (Viaggi 2018). Она предоставляет общую и многомерную структуру, ориентированную на создание стоимости, включающую потоки исходных ресурсов и продукции, участников, механизмы управления, а также различные процессы — от логистики до управления устойчивостью. В биоснованных цепочках создания стоимости имеются потоки материалов (например, биомассы) от первичного производства до конечных продуктов, с возможным возвратом за счет переработки и циркулярности. Потоки информации также являются характерной чертой биоснованных цепочек создания стоимости, в первую очередь касающихся показателей устойчивости, но также и рыночной информации, такой как цены, предложение, спрос и денежные потоки.

На рис. 4.2 представлено более детальное изображение биоснованной цепочки создания стоимости.

Дополнительные концепции, такие как цепочка поставок, технологическая цепочка и глобальная цепочка, полезны для увеличения и уменьшения масштаба в биоснованной цепочке создания стоимости. Например, биомасса или биоснованные



○ Рис. 4.2 Детальный вид биооснованной цепочки создания стоимости с указанием процессов, добавленной стоимости и потоков. (Адаптировано по Iffland et al. 2015; Abdulsamad et al. 2013; Zörb et al. 2018)

Цепочки поставок продукции (например, цепочка поставок древесины, цепочка поставок биогаза) сосредоточены на логистической и операционной перспективе потоков материалов и информации (Clay и Feeney 2019). Цепочки процессов описывают процессы, виды деятельности и операции, необходимые в полной цепочке создания стоимости или в ее конкретном сегменте (например, предварительная обработка, биопереработка и последующие процессы в рамках сегмента переработки биомассы), как показано на рис. 4.2 (Zörb et al. 2018). Глобальные сырьевые цепочки и сети (например, цепочка производства пальмового масла) помогают объяснить организацию глобальных биопромышленных отраслей (Gereffi et al. 2005).

4.2 Происхождение концепции биооснованной цепочки создания стоимости

Но является ли биооснованная цепочка создания стоимости новой концепцией? Термин «цепочка создания стоимости» уходит корнями в концепцию *filière* — французский термин, происходящий из экономики и введенный в 1970-х годах в качестве аналитической рамки для вертикальной структуры производственных систем и координации между участниками в целях производства товаров (Biénabe et al. 2017).

По сути, эта концепция относится к взаимосвязанной последовательности технических, логистических и коммерческих операций в системах сельскохозяйственного производства, направленных на производство и распределение таких продуктов, как продовольствие, от производства до потребления (Lançon et al. 2017). *Filière* позволяет подразделять производственные системы и проводить междисциплинарный анализ входных ресурсов

(техническая перспектива), а также организацию экономических агентов и формы обмена (социальная и экономическая перспективы) (Biénabe et al. 2017; Lançon et al. 2017). Эта концепция в основном использовалась в контексте систем сельскохозяйственного производства и развития сельских районов в качестве диагностического инструмента для анализа эффективности, организации и взаимоотношений между фермерами и переработчиками, а также для повышения конкурентоспособности сельскохозяйственных цепочек создания добавленной стоимости (Biénabe et al. 2017; Zörb et al. 2018, цитируют Nang'ole et al. 2011).

Фактически сельскохозяйственные цепочки создания стоимости и подобные концепции, такие как агробизнес и агропромышленные цепочки создания стоимости, тесно связаны с биоцепочками из-за ресурсной базы, на которой они построены: биомассы. Однако в случае биооснованных цепочек создания добавленной стоимости рассматриваются и другие формы и источники биомассы, включая как традиционные, так и новые виды биомассы. К ним относятся биомасса из традиционного сельского хозяйства (т. е. растениеводства и животноводства), а также из аквакультуры, лесного хозяйства, микроорганизмов, выращивания водорослей, разведения насекомых и остаточная биомасса, образующаяся на уровне первичного производства, промышленности или потребителей.

Филиер — это взаимосвязанная последовательность технических, логистических и коммерческих операций, необходимых для производства и распределения продуктов питания или агропромышленных продуктов от производства до потребления (Lançon et al. 2017).

Расширение сферы применения понятия «филиер» в связи с необходимостью понимания глобальных цепочек создания стоимости привело к появлению в середине 1990-х годов концепции «глобальной сырьевой цепочки» для анализа координации крупных цепочек создания стоимости (Kaplinsky and Morris 2002). Эти системы характеризуются глобально распределенными и взаимосвязанными участниками и процессами создания добавленной стоимости от добычи сырья до конечного продукта (Gereffi et al. 2005; Kaplinsky and Morris 2002; Viaggi 2018). Характеристики этих производственных систем можно также выявить в крупных биоснованных цепочках создания стоимости с глобальным распределением деятельности, как это имеет место в продовольственной системе. Таким образом, концепции «глобальной товарной цепочки» или «глобальной цепочки создания стоимости» задают базовый уровень для понимания структуры, функционирования и координации более сложных биоснованных цепочек создания стоимости, которые работают с биоресурсами и биопродуктами или производят их в глобальном масштабе.

© В 1980-х годах Майкл Портер ввел концепцию цепочки создания стоимости как инструмент уровне и инструмент управления для анализа конкурентного преимущества компании, основанный на основной и вспомогательной деятельности внутри компании, которая приводит к созданию стоимости (Zörb et al. 2018, цитируется по Портеру 1985). Ее можно понимать как детализацию деятельности каждой компании, являющейся частью более крупной цепочки создания стоимости, в которой взаимодействуют множество компаний и различных участников — от производства сырья до конечного продукта. Однако может сложиться ситуация, когда, если стратегия компании основана на полной вертикальной интеграции, одна и та же компания выполняет все процессы цепочки создания стоимости.

4.3 Биоснованная сеть создания стоимости: за пределами линейного мышления

Простота цепочки создания стоимости и ее линейное представление контрастируют со сложной реальностью производственных систем. Множество исходных ресурсов, биомассы и поставщиков вспомогательных услуг, а также разнообразие промежуточных и конечных продуктов и каналов сбыта приводят к появлению взаимосвязанных цепочек создания стоимости, формируя сети создания стоимости

или сетей (Kaplinsky and Morris 2002; Zörb et al. 2018). Примером может служить создание конечного продукта, который требует различных компонентов и зависит от нескольких биоснованных цепочек создания стоимости, например автомобиль, работающий на возобновляемой энергии и построенный с использованием материалов на биоснове материалах (О Рис. 4.3).

Концепция цепочки создания стоимости на основе биомассы

(или биосеть) была введена Вирхоу и др. (2016) в качестве системного подхода для учета связей между отдельными цепочками создания стоимости, отражения разнообразия путей использования биомассы и изучения синергии в целях обеспечения устойчивости и производительности.

Биоснованные цепочки создания стоимости объединяют множество биоснованных цепочек создания стоимости в единую сеть, выходящую за рамки фокуса на отдельном продукте или цепочке создания стоимости (Virchow et al. 2016). Эти сети позволяют учитывать разнообразные пути преобразования биомассы в продукцию, связывая различных заинтересованных сторон и способствуя сотрудничеству между различными секторами (Virchow et al. 2016; Vargas-Carpintero et al. 2022; Zörb et al. 2018). Этот подход обеспечивает целостное представление о сложных производственных системах и процессах. Он способствует формированию «сетевой перспективы» для понимания многочисленных способов использования биомассы, связей между цепочками создания стоимости, механизмов их управления и взаимосвязей между участниками (Virchow et al. 2016; Viaggi 2018). Многочисленные продукты из одного вида биомассы (например, многоцелевые культуры, которые могут выполнять несколько функций, и гибкие культуры с взаимозаменяемыми применениями для производства продуктов питания, кормов, энергии и материалов), системы с использованием нескольких видов сырья и ассортимент продукции на уровне фермерского хозяйства можно анализировать с точки зрения сети ценностей (Virchow et al. 2016; Viaggi 2018; Bastos Lima 2018; Birner 2018; Scheiterle et al. 2018). Пример многообразного использования сахарного тростника в сети сети показан на рис. 4.4. Подход «сети ценностей» полезен для выявления синергии между цепочками создания стоимости, возможностей для инноваций, повышения эффективности использования ресурсов за счет каскадного использования биомассы и принципов циркулярности, оценки устойчивости системы и создания стоимости, разработки производственных сценариев и формулирования стратегий модернизации (Zörb et al. 2018).

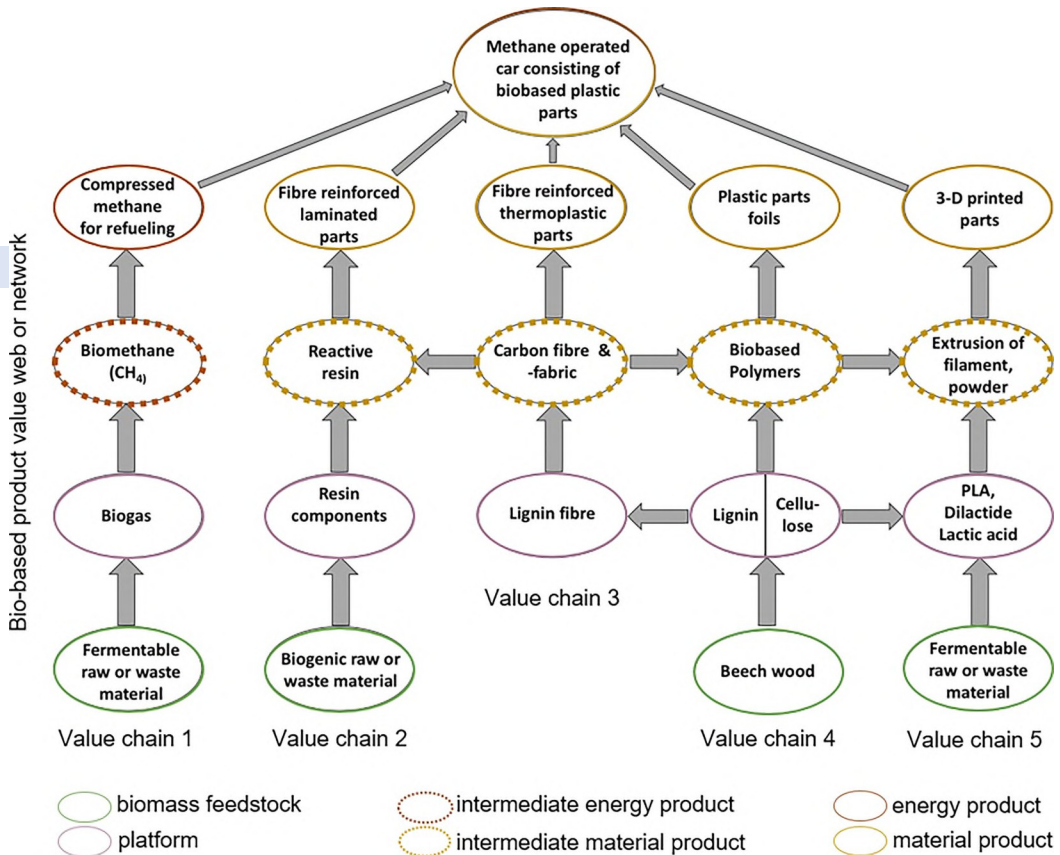


Рис. 4.3 Сеть создания стоимости автомобиля, работающего на биометане и изготовленного с использованием деталей из биопластика. В нее интегрированы многочисленные цепочки создания стоимости, включающие сырье (биомассу), платформы или строительные блоки, промежуточные продукты и конечных материальных и энергетических продуктов. (Адаптировано из BIOPRO в Zörb et al. 2018)

Сеть создания стоимости на основе биомассы представляет собой расширение концепции цепочки создания стоимости, используемой для анализа многообразных способов использования биомассы в биоэкономике. Подход, основанный на сети создания стоимости на основе биомассы, использует «перспективу сети» в качестве многомерной рамки для понимания взаимосвязей и связей между несколькими цепочками создания стоимости и того, как они регулируются (Virchow et al. 2016; Scheiterle et al. 2018; Birner 2018).

© Хотите узнать больше о концепциях биооснованных цепочек и сетей создания стоимости? Посмотрите [Дополнительное видео](#)

4.1, видео из нашего МООС «Концепции устойчивой биоэкономики» (2021).

4.4 Характеристики биооснованных цепочек и сетей

Биооснованные цепочки и сети создания стоимости лежат в основе биоэкономики, предлагая устойчивую альтернативу традиционным системам, основанным на ископаемом сырье. Эти системы уникальны тем, что опираются на возобновляемые биологические ресурсы, объединяют разнообразных заинтересованных участников и ориентированы на экологическую, экономическую и социальную устойчивость. В следующем разделе рассматриваются их определяющие характеристики, подчеркивается их роль в содействии инновациям и укреплению устойчивости в рамках устойчивой биоэкономики.

Экскурс 4.1: Пальма макауба для формирующихся биооснованных сетей создания стоимости

Пальма макауба (*Acrocomia aculeata*), произрастающая в Латинской Америке, является альтернативной масличной культурой для пищевой и кормовой, косметической, химической и биоэнергетической отраслей благодаря полному использованию плодов

(см. рис. 4.5). Цепочки и сети создания стоимости на основе этого растения формируются под влиянием одомашнивания пальмы и началом ее культивирования в Бразилии (Vargas-Carpintero et al. 2021, 2022).

4

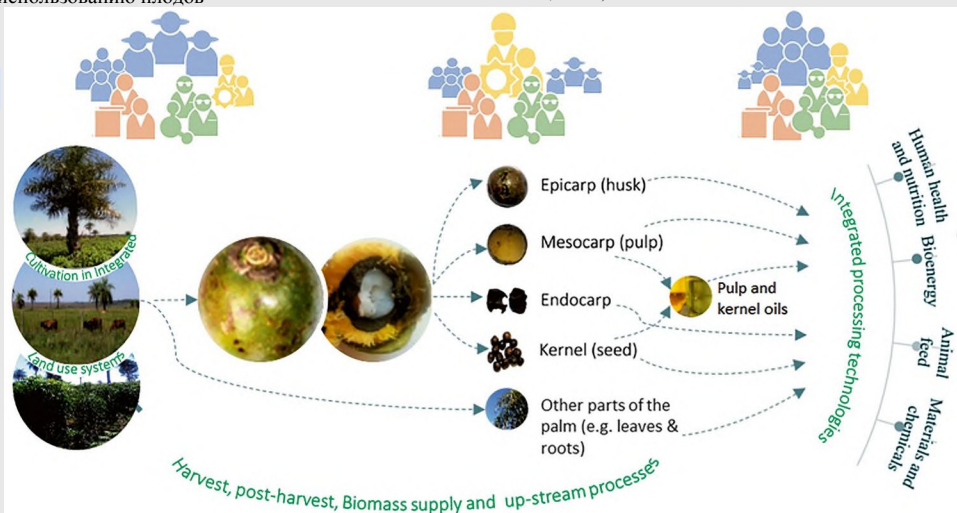


Рис. 4.5 Концепция сети создания стоимости *Acrocomia*, иллюстрирующая интегрированные системы землепользования для выращивания пальмы макауба (*Acrocomia aculeata*) и других пальм рода *Acrocomia*, комплексное использование плодов в качестве

основного растительного продукта, а также спектр секторов биоэкономики для продуктов и масел на основе макаубы, наряду с ключевыми участниками, формирующими цепочки создания стоимости, такими как фермеры, переработчики, исследователи, учреждения и потребители. (Адаптировано из Vargas-Carpintero et al. 2022, лицензировано по CC BY 4.0. ▶ <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

и углеродной плотности (Kircher 2021; Aristizábal-Magulanda и Cardona 2019; Cardona и др. 2019). Биомасса может быть очень разнообразной по своему составу, формам и свойствам. Кроме того, производство биомассы требует таких ресурсов, как семена и удобрения, а также природных ресурсов, отличных от нефти, доступных для ее добычи (Kircher 2021). Эти характеристики сырья делают биооснованные цепочки создания стоимости уникальными по своей конфигурации и функционированию. Например, децентрализованные биоперерабатывающие заводы с меньшей перерабатывающей мощностью, чем у традиционных нефтеперерабатывающих заводов, располагаются в непосредственной близости от зон производства биомассы (Kircher 2021). Стратегии обеспечения гибкости также могут быть рассмотрены в интегрированных биоперерабатывающих заводах, которые используют гибкие технологические схемы для преобразования различных видов биомассы в разнообразные продукты, в качестве меры по

преодоления сезонности биомассы, снижения рисков и диверсификации рынка (Espinoza Perez et al. 2017; Zörb et al. 2018) (см. ▶ гл. 17).

4.4.3 Многоцелевое использование биомассы

Биомасса, полученная из живых организмов, имеет различные области применения, такие как источник пищи, кормов, энергии, строительных материалов, волокон, косметики, фармацевтических препаратов и других биопродуктов. Цепочки создания стоимости, охватывающие эти виды использования и секторы, являются частью того, что мы сегодня называем биоцепочками и биосетью. Хотя при появлении концепции биоэкономики биоцепочки были в основном ориентированы на производство энергии, сегодня рассматриваются многочисленные секторы и виды использования биомассы

в рамках биоэкономики (см. также ► раздел 3.2). Принятие решения об использовании биомассы, например, в качестве пищевых продуктов, энергетические или материальные цели, является фундаментальным шагом, требующим определения приоритетов в отношении ценности продукта (не только экономической, но и социальной, а также экологической). Возможность одновременного получения различных продуктов может быть реализована с использованием многоцелевых источников биомассы, технологий интегрированной переработки и посредством связей между различными цепочками создания стоимости.

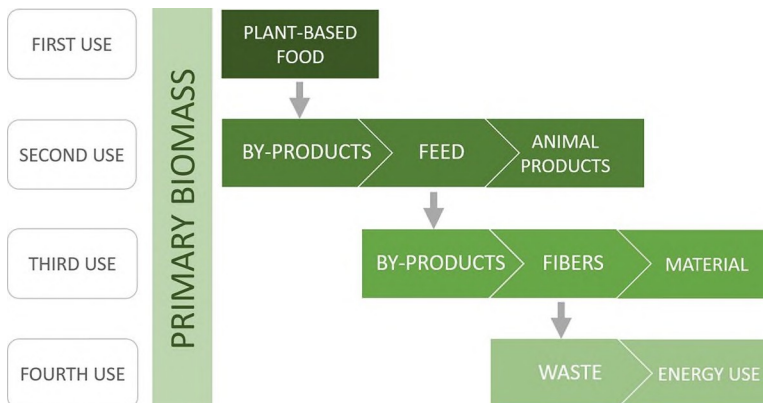
4.4.4 Интегрированная переработка и многопродуктовая система

Максимально эффективное использование биомассы является одним из основных принципов функционирования биоснованных цепочек и сетей создания стоимости. Каскадное использование биомассы, представленное в ► гл. 3, представляет собой концепцию, отражающую продление жизненного ресурса (например, переработка бумаги), а также стратегия полного использования компонентов и побочных продуктов биомассы (О рис. 4.6) (Zörb et al. 2018). Например, в биоперерабатывающих (см. ► гл. 17) биомасса может быть полностью переработана путем ее фракционирования функциональные компоненты путем комбинации механических, биологических, химических и термохимических процессов для преобразования биомассы в широкий набор промежуточных и конечных биопродуктов (Zörb et al. 2018; Kircher 2021). Концепция каскадного

использования биомассы дополняется принципом циркулярности для замкнутого оборота материальных и энергетических потоков (см. ► гл. 3 и 17), например, рециркуляцию питательных веществ, которые используются в сельском хозяйстве, утилизацию побочных продуктов, рекуперацию энергии и улавливание углерода (Zörb et al. 2018; Kircher 2021).

4.4.5 Многосекторальность и вовлечение множества заинтересованных сторон

В биоснованных цепочках и сетях создания стоимости задействованы многочисленные секторы экономики. Как традиционные, так и новые секторы, производящие биомассу, включая сельское хозяйство, лесоводство, рыболовство, морские источники, биотехнологическую промышленность и даже секторы управления отходами, предоставляют биоресурсы целому ряду традиционных и новых биоснованных секторов, охватывающих пищевую и кормовую промышленность, энергетику и биоснованные отрасли (химическая, фармацевтическая, косметическая, текстильная и биоматериалы) (Kircher 2021; Viaggi 2018). Биосетевые цепочки создания стоимости, основанные на одной культуре, такой как сахарный тростник, могут обеспечивать несколькими продуктами различные секторы (см. рис. 4.4). Утилизация остаточной биомассы также может привести к появлению новых синергетических эффектов между компаниями из разных секторов (Carrarese et al. 2018) (см. пример в ► Экскурсе 4.2). Связь между традиционными и новыми биосекторами секторах является ключевым фактором для интеграции формирующихся биосетевых цепочек и сетей (Zörb et al.



О Рис. 4.6 Каскадное использование биомассы (Zörb et al. 2018)

Взаимосвязь биооснованных цепочек создания стоимости и нетрадиционных биооснованных цепочек создания стоим

Утилизация остаточной биомассы может привести к появлению новых цепочек создания стоимости и формированию биосетей, связывающих различные сектора экономики. Один из примеров

, показанный на рис. 4.7, посвящен использованию отходов

остаточного жмыха, полученного при экстракции растительного масла

для извлечения фосфатов и его использования в качестве сырья в цепочке создания стоимости минеральных удобрений. Это становится возможным благодаря применению ферментов в биотехнологическом процессе, в результате которого также получается жмых с низким содержанием фосфатов, который можно использовать в комбикормах (Carraresi et al. 2018).

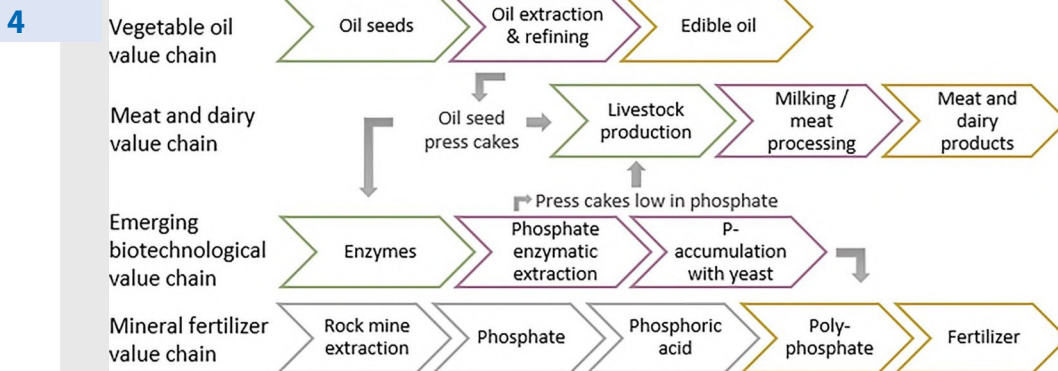


Рис. 4.7 Многосекторность в формирующихся биооснованных цепочках создания стоимости и сетях. Примером служит извлечение фосфора из сельскохозяйственных побочных продуктов, таких как масличный жмых из рапса, для производства удобрений и использование

маслосодержащего жмыха с низким содержанием фосфатов в качестве корма для животных. (Адаптировано из Carraresi et al. 2018)

2018). Поставщики биомассы, фермеры, перевозчики, операторы по обработке, первичные и вторичные переработчики, дистрибьюторы и потребители входят в число участников цепочки создания стоимости, связанных в этих системах. Но взаимодействуют также политики, инвесторы, ученые, органы сертификации, поставщики услуг и ресурсов (из предшествующих или последующих звеньев цепочек создания стоимости, таких как производство семян), консультационные и обучающие службы, а также другие заинтересованные стороны, такие как местные сообщества и общество.

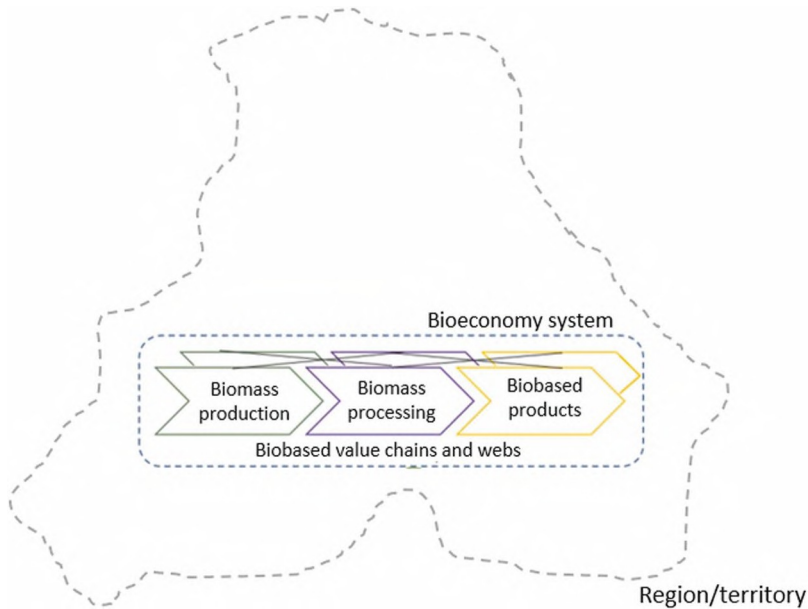
4.4.6 Территориальность или региональность

Биооснованные цепочки и сети создания стоимости привязаны к месту производства биомассы. Например, сельскохозяйственные и лесохозяйственные системы пространственно рассредоточены, что влияет на транспортные расходы и указывает, помимо прочих причин, таких как состав биомассы и обеспечение качества, на необходимость децентрализованных

на региональном уровне (Viaggi 2018; Kircher 2021). Подход, заключающийся в использовании доступных биоресурсов, создании добавленной стоимости на местном уровне, ведении деятельности в непосредственной близости от рынка и содействию развитию сельской экономики, наряду с географическим распределением биомассы подчеркивает региональную или территориальную перспективу биооснованных цепочек и сетей создания стоимости. Их присутствие в конкретных пространствах формирует «территориальные системы биоэкономики»

(см. рис. 4.8), в которых цепочки создания стоимости укоренены в местном контексте в отношении природных

ресурсов, заинтересованных сторон, материальных потоков и деятельности, как, например, в территориальных или сельских биоперерабатывающих заводах (Wohlfahrt et al. 2019; Lucian Ceargaz et al. 2016). Независимо от местоположения процессов региональная перспектива необходима на всех этапах процессов создания добавленной стоимости — от производства биомассы до использования продукции, — поскольку эти процессы взаимодействуют с местным биофизическим, экономическим и социальным контекстом.



○ Рис. 4.8 Территориальная встроенность биоснованных цепочек и сетей создания стоимости. (Vargas-Carpintero 2025, лицензировано по CC BY 4.0. ▶ <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

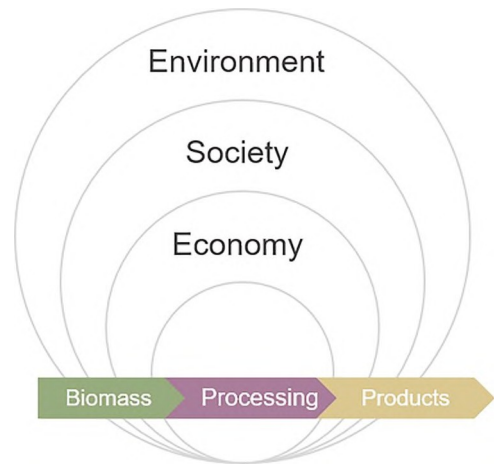
4.4.7 Контекстуальная зависимость и многомерность

Биоснованные цепочки и сети создания стоимости относятся к системам биоэкономики и, как таковые, встроены в биофизический, социальный, технический, экономический и институциональный контекст и функционируют в пределах географических границ

(○ рис. 4.9) (Wohlfahrt et al. 2019; Ge et al. 2016).

В рамках процессов биоснованных цепочек создания стоимости и

сетей участники цепочек создания стоимости и другие заинтересованные стороны используют природные ресурсы, применяя технологии для производства, поставки, преобразования и использования биомассы (Wohlfahrt et al. 2019). Таким образом, возникает взаимодействия внутри и между биофизическими или экологическими, социальными и техническими элементами, особенно в сельскохозяйственных системах и производных цепочках создания стоимости (Lewandowski et al. 2024). Например, взаимоотношения «почва-растение» определяют производство биомассы, на которое можно влиять с помощью удобрений, применение которых требует обучения фермеров. Таким образом, биоснованные цепочки и сети создания стоимости, с точки зрения социально-экологической системы



○ Рис. 4.9 Биоснованные цепочки и сети создания стоимости как встроены биооснованные производственные системы в более крупные экологические, социальные и экономические системы. (Адаптировано из Budzianowski и Postawa 2016)

систем (SES), оказывают влияние на свой социальный и биофизический контекст, одновременно формируясь под их влиянием (Wohlfahrt et al. 2019; Ge et al. 2016; Viaggi 2018). Кон-

Концепция «биоэкономической цепочки создания стоимости», благодаря своему целостному подходу, может помочь учесть эти взаимодействия с окружающей средой. Дальнейшая интеграция многомерности в аналитические модели, адаптированные к биоэкономике, может способствовать пониманию системных взаимодействий, как это предложил Виаджи (2018) в концепции «социально-экологическо-технологической сети ценностей».

4

4.4.8 Ориентация на устойчивость

В биооснованных цепочках и сетях создания стоимости цель заключается в достижении положительных результатов с экологической, социальной и экономической точек зрения (Lewandowski 2015). Эти системы должны функционировать в пределах планетарных границ, а их устойчивость зависит от функционирования природных, технологических и управленческих процессов (Ge et al. 2016; Wohlfahrt et al. 2019; Diaz-Chavez and van Dam 2020). Использование биогенного углерода из биомассы, произведенного с учетом принципов устойчивого развития, направлено на замещение и сокращение использования ископаемого углерода в экономике и, таким образом, на смягчение последствий изменения климата. Ввиду деградации экосистем и их функций биооснованные цепочки и сети создания стоимости, как сторона предложения биоэкономики, должны быть сформированы таким образом, чтобы производство биомассы и ее использование позволяли избежать конкуренции за использование земель и продовольствия, сокращали выбросы парниковых газов, использовали меньше ресурсов, обеспечивали циркуляцию материалов и энергии, минимизировали отходы, способствовали экосистемным услугам и восстанавливали деградированные экосистемы (Lewandowski 2015; Lewandowski 2017; Viaggi 2018). Кроме того, социальное благополучие, равенство и инклюзивность являются основополагающими целями (Palmeros Parada et al. 2020; Cerca et al. 2022; Marting-Vidaurre et al. 2020). Таким образом, на этапах проектирования, развития и функционирования биооснованных цепочек и сетей создания стоимости непрерывное учет, оценка и выполнение критериев устойчивости — от производства биомассы до конечного продукта, его использования и утилизации — имеют решающее значение для обеспечения их положительной

эффективность и постоянное совершенствование (Vargas-Carpintero 2025; Lago-Oliveira et al. 2024).

4.4.9 База знаний и системные инновации

Исследования, разработки и инновации (RD&I) играют существенную роль в биоэкономике, которую обычно называют «биоэкономикой, основанной на знаниях» (Рука 2017). Внедрение новых культур, систем земледелия, технологий переработки и продуктов, а также адаптация конвергирующих технологий, таких как цифровизация и искусственный интеллект, в процессах биооснованных цепочек создания стоимости и сетей требует RD&I. Более устойчивые методы производства биомассы (например, устойчивые к изменению климата сорта сельскохозяйственных культур, системы агролесоводства, биологическая защита растений), более эффективная и чистая переработка, а также организационные инновации составляют базу знаний для развития и модернизации биооснованных цепочек создания стоимости и сетей. Инновации в биоэкономике несут системный характер в том смысле, что они затрагивают всю цепочку создания стоимости. Общие вызовы инноваций в биоэкономике связаны с коммерциализацией, распространением, внедрением, пробелами в знаниях между дисциплинами, вопросами принятия и регулирования, а также высокими инвестиционными затратами и длительными сроками разработки (Bröging et al. 2020). Решение этих проблем и снижение рисков на протяжении всего процесса НИОКР требует партнерства между участниками инновационных систем (MacClay and Sellare 2022; Bröring et al. 2020; Van Lancker et al. 2016). Кроме того, содействие процессам формирования цепочек создания стоимости и сетевых структур с помощью платформ, обеспечивающих связь между участниками и средами для совместной работы, может помочь ускорить процесс передачи знаний и внедрения инноваций (MacClay and Sellare 2022; Zörb et al. 2018; Vargas-Carpintero et al. 2022; Van Lancker et al. 2016).

Экскурс 4.3: BiographieBW

Федеральная земля Баден-Вюртемберг (Германия) является пионером в области региональной биоэкономики. В рамках стратегии биоэкономики земли приоритетом является формирование новых и передовых биосистемных цепочек создания стоимости и сетей, основанных на

исследований, разработок и инноваций. На рис. 4.10 представлена инфографика, дающая обзор исследовательской программы в области биоэкономики

программы, реализованной для расширения базы знаний в области биоэкономики штата.



Рис. 4.10 Региональный подход к научно-исследовательской работе в области биоэкономики: пример Баден-Вюртемберга

► <https://biographiebw.uni-hohenheim.de/> © Университет Хоэнхайма

4.5 Проектирование и развитие биосистемных цепочек и сетей создания стоимости

Проектирование и развитие биосистемных цепочек и сетей создания стоимости — это сложный процесс, требующий системного подхода, интегрирующего как технические, так и нетехнические аспекты

(см. рис. 4.11). Технические аспекты касаются проектирования и оптимизации производственных систем путем интеграции процессов и технологий производства биомассы и ее преобразования в продукты. Нетехнические аспекты касаются организации участников, взаимоотношений, координации и аспектов управления. Разработка бизнес-моделей, управление и бизнес-стратегии находятся на стыке технических и организационных аспектов.

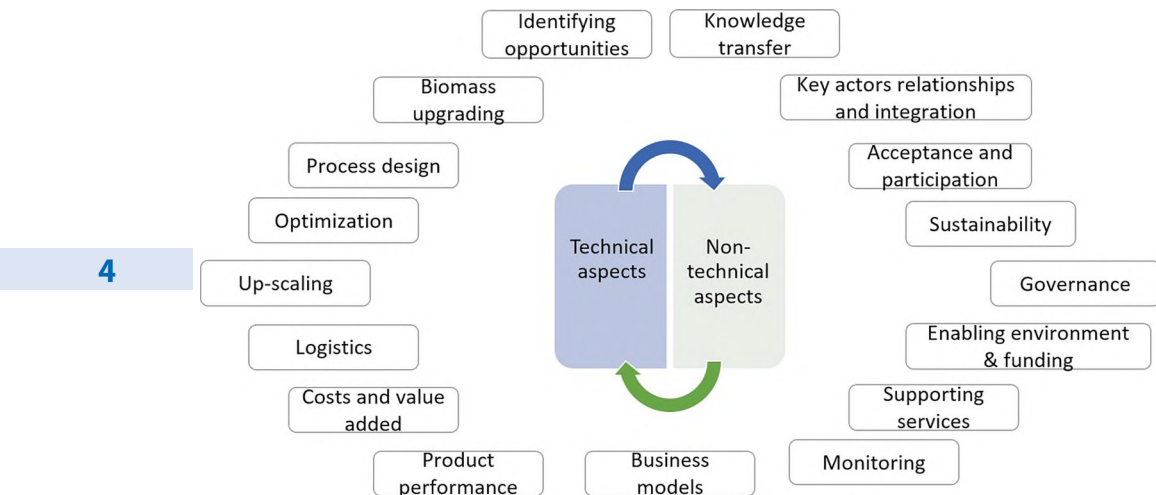
При проектировании и развитии биосистемных цепочек и сетей создания стоимости взаимосвязаны различные уровни принятия решений: от стратегического уровня (т. е. долгосрочные решения) и тактического уровня (т. е. среднесрочные решения) до оперативного уровня (т. е. краткосрочные решения) (Espinoza-

Pérez et al. 2017; Butemann and Schimmelpfeng 2017). Стратегическое принятие решений играет решающую роль, затрагивая вопросы эффективности,

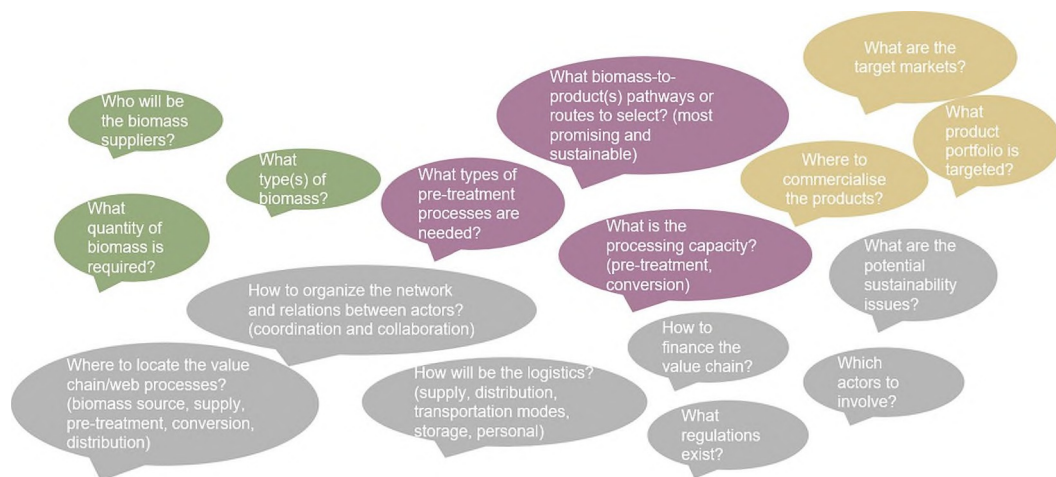
эффективность, инновационность и реализуемость биосистемных цепочек и сетей создания стоимости (см. рис. 4.12) (Mertens et al. 2019; Bezama et al. 2019).

Кроме того, при проектировании необходимо учитывать территориальный контекст, признавая важность местных условий и ресурсов, при этом сохраняя сильный акцент на устойчивости. Учитывая экологические, социальные и экономические цели (Palmeros Parada et al. 2020; Wohlfahrt et al. 2019; Cardona et al. 2019), системный подход гарантирует, что биосистемные цепочки и сети создания стоимости являются целостными, контекстуально релевантными и готовыми к будущему.

В процессе проектирования и развития биосистемных цепочек и сетей создания добавленной стоимости большое разнообразие комбинаций типов биомассы, технологий переработки и потенциальных продуктов (т. е. путей преобразования биомассы в продукты) усложняет принятие стратегических решений, таких как выбор цепочек создания добавленной стоимости, реализуемых на региональном уровне. Для обеспечения внедрения



○ Рис. 4.11 Технические и нетехнические аспекты, которые учитываются при проектировании и развитии биооснованных цепочек и сетей создания добавленной стоимости



○ Рис. 4.12 Типичные стратегические вопросы, с которыми сталкиваются лица, принимающие решения, при проектировании и развитии биооснованных цепочек и сетей создания добавленной стоимости

Для успешной реализации формирующихся цепочек создания добавленной стоимости крайне важно провести многомерную и целостную оценку на ранних этапах процесса проектирования и развития — от поиска источников биомассы до получения биопродуктов. Этот целостный подход должен учитывать территориальные/региональные условия (например, доступность биомассы, биофизические ограничения, инфраструктуру, рабочую силу, рынки, социальные потребности) и свойства технологий переработки (например, уровень технологической готовности, инвестиционные затраты, требования к инфраструктуре

и производственные мощности), чтобы проверить совместимость цепочки создания стоимости в регионе (Vargas-Carpintero 2025; Schlecht et al. 2025). Таким образом можно способствовать интеграции технологий и их преобразованию в практические, реализуемые решения. Как подчеркивают Локеш и др. (2018), после определения цепочек создания стоимости крайне важно разработать бизнес-модели, которые учитывают взаимодействие между процессами, заинтересованными сторонами и динамичный характер биоэкономики.

- © Хотите узнать больше о проектировании биоснованных цепочек и сетей создания стоимости? Посмотрите дополнительное видео 4.3 из нашего МООС «Концепции устойчивой биоэкономики» (2021).

4.5.1 Подходы к проектированию и разработке

Применяя структуру цепочки и сети создания стоимости, становится возможным выявить социально-экономические, биофизические и институциональные факторы (т. е. территориальный/региональный контекст), которые влияют на эффективность этих систем, обеспечивая более всестороннее понимание их динамики (Virchow et al. 2016; Scheiterle et al. 2018).

Существует множество методологий, помогающих в проектировании и развитии биоснованных цепочек создания стоимости и сетей (см. рис. 4.13). Концептуальные концептуальные рамки проектирования и оптимизации в основном возникли из проектирования химических процессов и были сосредоточены главным образом на проектировании процессов биопереработки (Moncada et al. 2016). Они позволяют оценивать сырье, технологии, продукты и маршруты переработки посредством технического, экономического, экологического и энергетического анализа с целью получения оптимальной конфигурации

Оценка устойчивости путей преобразования биомассы в продукцию на разных этапах разработки (концептуальное проектирование, масштабирование и внедрение). Подходы к оценке устойчивости также используются при проектировании биоснованных цепочек создания стоимости путем применения многокритериального анализа и сравнения различных путей преобразования биомассы в продукцию. Кроме того, партисипативные подходы позволяют вовлечь заинтересованные стороны в процесс проектирования (Vargas-Carpintero 2025; Palmeros Parada et al. 2020). На практике

Исследователи и специалисты-практики объединяют различные элементы этих методологий для поддержки процесса проектирования и развития биоснованных цепочек и сетей создания добавленной стоимости.

Подходы к концептуальному проектированию включают выявление потенциальных путей преобразования биомассы в продукцию, обладающих технико-экономическим потенциалом, с учетом таких факторов, как необходимые технологии и процессы, а также заинтересованные стороны. Такие методы, как проектирование на основе суперструктуры (т. е. комбинация альтернативных путей преобразования биомассы в продукцию, связывающих биомассу, процессы и продукты) и математическое моделирование, помогают оценивать сырье, маршруты переработки и технологии для определения оптимальной конфигурации биоперерабатывающих заводов, одновременно учитывая в первую очередь технические, экономические, экологические и энергетические аспекты (Moncada et al. 2016; Cardona Alzate et al. 2023).

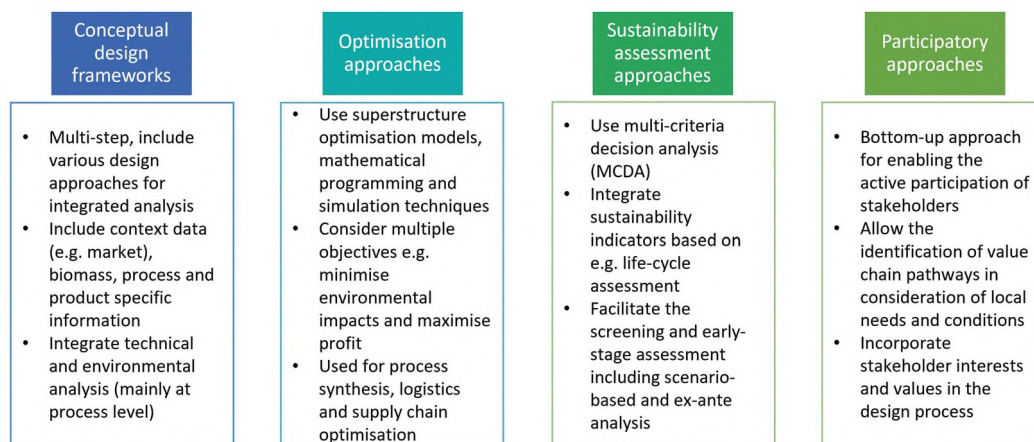


Рис. 4.13 Существующие концептуальные рамки и методы в контексте биоснованных цепочек создания стоимости и сетей. (На основе работ Espinoza Pérez et al. 2017; Palmeros Parada et al. 2017, 2020; Aristizábal-Marulanda и Cardona 2019; Benali et al. 2018; Vargas-Carpintero 2025)

Методологии оптимизации сосредоточены на повышении эффективности за счет использования таких инструментов, как линейное программирование (LP), многоцелевое программирование (MO), смешанное целочисленное линейное программирование (MILP) и модели суперструктуры, для улучшения процесса принятия решений в отношении сети переработки, а также оптимизации цепочки поставок. Например, исследования

использовали многомасштабные модели

4
суперструктуры

для управления цепочками поставок в сфере пиролиза биомассы (Sharifzadeh et al. 2015), в то время как другие были сосредоточены на оптимизации экономических показателей систем переработки отходов биомассы (Balaman et al. 2018) или на максимизации прибыли в биомассовых цепочках поставок биопродуктов (Abdul Razik и др., 2019).

Подходы на ранних этапах, такие как методы синтеза процессов, позволяют быстро сравнивать биопроцессы, помогая выявлять перспективные виды биомассы в качестве сырья, пути переработки и ассортимент продукции. Аналогичным образом, оценки устойчивости на ранних этапах проектирования используют многокритериальные подходы для оценки экологических, экономических и социальных последствий систем биопереработки по сравнению с традиционными нефтехимическими процессами с использованием таких показателей, как экономические ограничения, воздействие на окружающую среду, а также риски для здоровья и безопасности (Patel et al. 2012, 2013; Posada et al. 2013).

Подходы к оценке устойчивости обычно включают инструменты для многомерной оценки набора путей преобразования биомассы в продукцию на этапе предварительного анализа или на ранних этапах проектирования, а также на этапе внедрения биооснованных (см. ► гл. 41). На ранних этапах проектирования эти методы направлены на выбор тех путей преобразования биомассы в продукцию с наилучшим потенциалом устойчивости. Для этого эти методы применяют и сочетают показатели устойчивости в рамках многокритериального анализа принятия решений (MCDA). Используемые показатели, как правило, связаны с экологическими и техническими аспектами, полученными в результате комплексных оценок, таких как анализ жизненного цикла и технико-экономический анализ.

Учитывая необходимость контекстуализации процесса проектирования и разработки, а также продвижение интеграции социальных аспектов в процесс проектирования, все чаще разрабатываются и применяются подходы «снизу вверх». Это касается подходов к проектированию

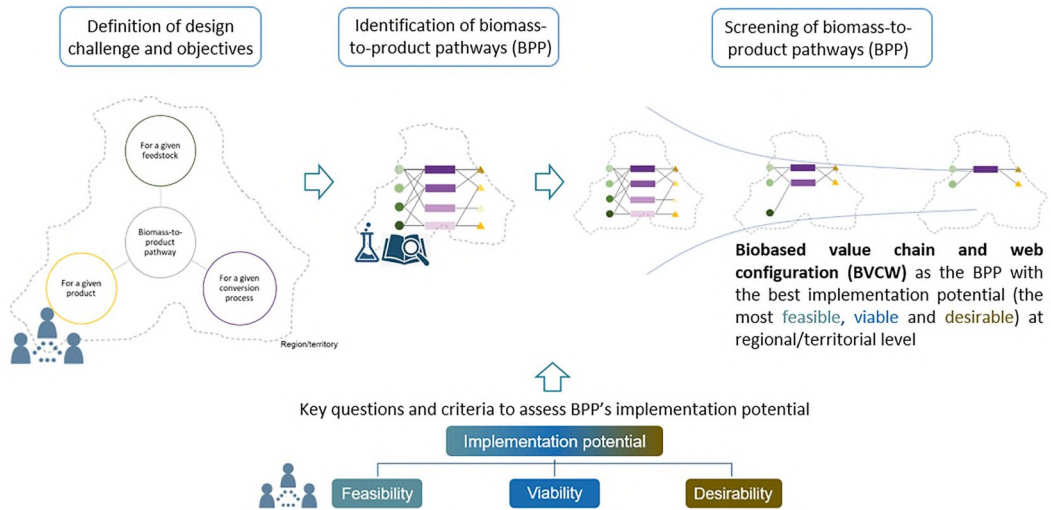
которые позволяют активно вовлекать заинтересованные стороны в процесс проектирования, в определение целей проекта биоцепочки и в учет интересов и ценностей местных заинтересованных сторон (Palmeros Parada et al. 2020). Эти методы могут повысить социальную приемлемость новых биоцепочек, при этом ориентируясь на реальные потребности и условия на местном уровне.

4.5.2 Интеграция инструментов проектирования и инструментов разработки с территориальным подходом

с участием заинтересованных сторон,

Существующие методы технического проектирования систем биопереработки предоставляют подходящий набор инструментов для планирования биооснованных цепочек и сетей создания стоимости. Сочетание этих методов с партисипативными подходами может способствовать процессу проектирования и разработки за счет включения видения и точек зрения заинтересованных сторон, что добавляет важный уровень реальных условий для разработки проекта цепочки создания стоимости. Потребность в большей междисциплинарности и трансдисциплинарности при формировании цепочек создания стоимости становится императивной, учитывая, что проектирование и развитие цепочек создания стоимости — это задачи, которые требуют не только технических знаний, но и организации участников, а также готовности заинтересованных сторон к участию. Потенциал внедрения этих систем на региональном уровне во многом зависит от местных участников, и включение их точек зрения и потребностей в процесс проектирования имеет решающее значение для обеспечения практической реализации и успеха биооснованных цепочек создания стоимости.

Исследования в области новых систем производства биомассы, технологий переработки и продуктов создают набор вариантов, обладающих технологическим потенциалом для формирования новых цепочек создания стоимости. Но все ли эти решения реализуемы? Что может потребоваться для внедрения этих технологий и цепочек создания стоимости в экономических секторах? Адаптивные и рефлексивные процессы проектирования и развития биооснованных цепочек создания стоимости помогают постоянно учитывать условия и критерии, необходимые для перехода от «технологического потенциала» к «потенциалу внедрения». Концептуальная основа, разработанная Варгасом-Карпинтеро (2025), способствует решению этой задачи путем интеграции



О Рис. 4.14 Комплексный подход к проектированию биосовременных цепочек и сетей создания стоимости. (Vargas-Carpintero 2025, лицензировано по CC BY 4.0. ▶ <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

основные общие этапы процесса проектирования на основе существующих подходов — (i) определение задачи и целей проектирования; (ii) выявление путей преобразования биомассы в продукцию; (iii) отбор путей преобразования биомассы в продукцию с использованием набор многокритериальных показателей (см. рис. 4.14).

Для биосовременной цепочки создания стоимости и веб-конфигурации (т. е. путь преобразования биомассы в продукт) была реализуема, необходимо проверить её совместимость как с окружающим контекстом (внешний аспект), так и внутри производственной системы (внутренний аспект). Для этой цели определены три измерения оценки эффективности в соответствии с принципами дизайн-мышления и системного анализа (Giampietro 2023; Vocken et al. 2022): (i) *осуществимость*, чтобы проверить совместимость биосовременной цепочки создания стоимости с биофизическим контекстом (является ли она экологически осуществимой?); (ii) *жизнеспособность* — для проверки ее совместимости с технико-экономическими ограничениями (является ли она технико-экономически жизнеспособной?); и (iii) *желательность* — для проверки ее совместимости с общественными нормами, ценностями и институтами (является ли она социально желательной?). Первое измерение — *осуществимость* — охватывает аспекты, связанные с доступностью природных ресурсов, экосистемных услуг и экологических границ биосферы. Второе измерение — *жизнеспособность* — охватывает аспекты, связанные с техническим потенциалом, такие как технологическая готовность и технологические показатели, а также экономические факторы, такие как

затраты на производство и доступ к рынку. Третье измерение — *желательность* — исследует социальную приемлемость и соответствие системы институциональным и нормативным рамкам, охватывая такие аспекты, как социальная приемлемость, соблюдение нормативных требований и продовольственная безопасность (см. набор критериев, https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0926669024020818-gr7_lrg.jpg). Применение интегрированной концепции в научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектах по цепочке создания стоимости укрепляет биосовременную цепочку создания стоимости и ее структуру за счет объединения технологического проектирования, территориального контекста и подходов с участием множества заинтересованных сторон для оценки осуществимости, жизнеспособности и целесообразности (Vargas-Carpintero 2025; Schlecht et al. 2025). Ее внедрение требует включения измеримых показателей, связанных с набором многокритериальных показателей и регионализированными анализами, что позволяет проводить более комплексные и сопоставимые оценки потенциала реализации по различным путям преобразования биомассы в продукцию, как показано в работе Schlecht et al. (2025) для цепочек создания стоимости из новых культур, выращиваемых на малоплодородных землях для промышленных целей в Европе. Для облегчения использования данной концептуальной модели набор контрольных вопросов для каждого из этих измерений представлен на рис. 4.15, полученный на основе набора критериев. Эти примерные вопросы служат инструментом проверки для исследователей и практиков при оценке



О Рис. 4.15 Примерные контрольные вопросы для оценки потенциала внедрения биооснованных цепочек и сетей создания добавленной стоимости из растительной биомассы. (На основе Vargas-Carpintero 2025)

пути преобразования биомассы в продукцию и повышение потенциала внедрения (Vargas-Carpintero 2025; Schlecht et al. 2025). Вопросы сформулированы для растительной биомассы (например, новых культур) и могут быть адаптированы к другим типам биомассы и другим случаям.

В следующих главах представлены различные технологические подходы и концепции, связанные с производством и поставками биомассы, ее переработкой и продуктами. Это ключевые составляющие для создания новых биооснованных цепочек и сетей создания стоимости. Наряду с этим

В заключение мы предлагаем вам проанализировать концепции и методологические подходы, представленные в данной главе, особенности систем производства на основе биоресурсов, а также разнообразные аспекты — как технологические, так и организационные — и заинтересованные стороны, которые необходимо учитывать в процессе проектирования и развития этих систем для обеспечения их устойчивого внедрения. Концепция цепочки создания стоимости служит в этом процессе подходящей основой для объединения элементов сложной мозаики системы биоэкономики.

? Вопросы

1. Из чего состоят био-цепочек и сетей создания стоимости на биологической основе?
2. В чем заключаются преимущества расширения концепции био-цепочки создания стоимости до био-сетей создания стоимости?
3. Каковы ключевые характеристики биоснованных цепочек и сетей создания стоимости?
4. Какие примеры стратегических вопросов при проектировании биоснованных цепочек и сетей создания стоимости можно привести?

7 Ответы

1. Основными строительными блоками или частями, составляют биоснованные цепочки и сети создания стоимости, — это производство биомассы, переработка биомассы, а также биопродукты и рынки, наряду с участниками, процессами, входными и выходными потоками, при поддержке экосистемных услуг, институтов и других участников цепочки создания стоимости.
2. Сеть биоснованной стоимости позволяет анализировать взаимосвязь, связи и возможности синергии между несколькими цепочками создания стоимости, учитывать разнообразие путей утилизации биомассы и выявлять возможности для повышения производительности, способствуя при этом устойчивому развитию.
3. Биоснованные цепочки и сети создания стоимости для своего функционирования опираются на биомассу как возобновляемый ресурс, являются весьма сложными в силу внутренних характеристик биомассы (например, сезонности, состава, географическое распределение), учитывают многочисленные способы использования биомассы, представляют собой многопродуктовые системы, подходящие для интегрированной переработки (например, биопереработка), встроены в территориальный контекст и формируются под влиянием контекстуальных факторов, вовлекают множество заинтересованных сторон, секторов и многомерных аспектов (например, экологических, социально-экономических, институциональных, культурных), стремятся к достижению показателей устойчивости за счет самого дизайна и требуют прочной базы знаний и инновационных процессов.
4. Примеры стратегических вопросов: какой тип биомассы выбрать?; откуда поступает биомасса?; какой масштаб переработки следует учитывать?; какой

тип технологии переработки выбрать?; на какие рынки ориентироваться?; какой ассортимент продукции предлагать?; кто будет заинтересованными сторонами?; какое воздействие на устойчивое развитие будет оказано?; и где разместить процессы цепочки создания стоимости?

Ссылки

- Abdul Razik AH, Khor CS, Elkamel A (2019) Модельный подход к оптимизации планирования сети цепочки поставок «от биомассы к биопродуктам». *Food Bioprod Process* 118:293–305. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.10.001>
- Абдулсамад А., Брун Л., Геретфи Г. (2013) Реализация потенциала африканского сельского хозяйства: инновации и доступ к рынкам для мелких фермеров. Университет Дьюка, Центр по глобализации, управлению и конкурентоспособности. <https://doi.org/10.2139/ssm.2598875>
- Аристисабаль-Маруанда В., Кардона Альзате К.А. (2019) Методы проектирования и оценки биоперерабатывающих заводов: обзор. *Biofuels Bioprod Biorefining* 13:789–808
- Баламан Ш.Й., Райт Д.Г., Скотт Дж., Матопулос А. (2018) Проектирование сетей и управление технологиями для производства энергии из отходов: интегрированная система оптимизации в соответствии с принципами циркулярной экономики. *Energy* 143:911–933. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.058>
- Бастос Лима М.Г. (2018) На пути к многоцелевому сельскому хозяйству: продовольственные, топливные и универсальные культуры и перспективы биоэкономики. *Glob Environ Politics* 18(2):143–150. https://doi.org/10.1162/glep_a_00452
- Бастос Лима М.Г., Пальме У. (2022) Взаимосвязь между биоэкономикой и биоразнообразием: укрепление или подрыв вклада природы в жизнь людей? *Conservation* 2(1):7–25. <https://doi.org/10.3390/conservation2010002>
- Benali M, Jaaidi J, Mansoornejad B et al (2018) Системы поддержки принятия решений для оценки стратегий трансформации биоперерабатывающих предприятий. *Can J Chem Eng* 96:2155–2175. <https://doi.org/10.1002/cjce.23301>
- Безама А., Инграо К., О'Кифф С., Тран Д. (2019) Ресурсы, партнеры и соседи: тройной вызов при реализации регионов биоэкономики. *Sustainability* 11:7235. <https://doi.org/10.3390/su11247235>
- Биенабе Э., Карон П., Лойе Д., Риваль А. (2017) Введение. В: Устойчивое развитие и тропические агропромышленные цепочки. Springer, Дордрехт, с. 1–13
- Бирнер Р. (2018) Концепции биоэкономики. В: Левандовски И., Голд Н., Ласк Дж., Майер Дж., Тчуга Б., Варгас-Карпинтеро Р. (ред.) *Биоэкономика: формирование перехода к устойчивой биоэкономике*. Springer International Publishing, Шам, с. 17–38

- Бокен Н.М.П., Харш А., Вайсброд И. (2022) Циркулярные бизнес-модели для индустрии товаров повседневного спроса: желательность, осуществимость и жизнеспособность. *Sustain Prod Consum* 30:799–814. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.01.012>
- Брёринг С., Лайбах Н., Вустманс М. (2020) Типы инноваций в биоэкономике. *J Clean Prod* 266:121939. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121939>
- Budzianowski WM, Postawa K (2016) Полная интеграция цепочки систем устойчивого биопереработки. *App Energy* 184:1432–181446. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.050>
- Бугге М., Хансен Т., Клиткоу А. (2016) Что такое биоэкономика? Обзор литературы. *Sustainability* 8:691. <https://doi.org/10.3390/su8070691>
- Butemann H, Schimmelpfeng K (2017) Структурирование задач планирования в цепочках поставок на основе биомассы. В: Dabbert S, Lewandowski I, Weiss J, Pyka A (ред.) Развитие биоэкономики на основе знаний (с. 293–311). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58374-7_15
- Кардона Альсате К. А., Ортис-Санчес М., Соларте-Торо Х. К. (2023) Стратегия проектирования биоперерабатывающих заводов по переработке пищевых отходов на основе анализа многокомпонентного сырья для повышения экологической устойчивости производственно-сбытовых цепочек. *Biochem Eng J* 194:108857. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2023.108857>
- Кардона К., Монкада Дж., Аристисабаль-Маруанда В. (2019) Биоперерабатывающие заводы: проектирование и анализ. CRC Press, Бока-Ратон
- Каррарези Л., Берг С., Брёринг С. (2018) Возникающие цепочки создания стоимости в биоэкономике: структурные изменения на примере извлечения фосфатов. *J Clean Prod* 183:87–101. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.135>
- Cerca M, Sosa A, Gusciute E, Murphy F (2022) Стратегическое планирование биосовременных цепочек поставок: устранение узких мест и включение социальной устойчивости в системы биоперерабатывающих заводов. *Sustain Prod and Consum* 34:219–34232. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.013>
- Диас-Чавес Р., ван Дам Дж. (2020) Новые региональные подходы к управлению и ландшафтные подходы к обеспечению устойчивости цепочек поставок биоэнергии и биоматериалов. Международное энергетическое агентство (МЭА) «Биоэнергия». Задача 43: TR2020-02. <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/07/Novel-regional-and-landscape-based-approaches-to-govern-sustainability-of-bioenergy-and-biomaterials-supply-chains.pdf>
- Эспиноза Перес А.Т., Камарго М., Нарваэс Ринкон П.К., Альфаро Марчант М. (2017) Основные вызовы и требования к проектированию и управлению цепочками поставок для устойчивых и индустриализированных биоперерабатывающих предприятий: библиографический анализ. *Renew Sust Energ Rev* 69:350–359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.084>
- Ge L, Anten NP, van Dixhoorn IDE и др. (2016) Почему нам нужно мышление, ориентированное на устойчивость, для решения социальных проблем в системах производства на биологической основе. *Curr Opin Environ Sustain* 23:17–27. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.009>
- Gereffi G, Humphrey J, Sturgeon T (2005) Управление глобальными цепочками создания стоимости. *Rev Int Polit Econ* 12(1):78–104
- Джампьеро М. (2023) Многомасштабный интегрированный анализ общественного и экосистемного метаболизма. В: Вильяммайор-Томас С., Мурадиан Р. (ред.) Барселонская школа экологической экономики и политической экологии. Исследования в области экологической экономики, т. 8. Springer Cham, с. 109–121
- Иффланд К., Шервуд Дж., Карус М., Рашка А., Фармер Т., Кларк Дж. (2015) Определение, расчет и сравнение «эффективности использования биомассы (BUE)» различных биохимикатов, полимеров и топлив. *Nova-institute*. <http://www.bio-based.eu/nova-papers>
- Каплинский Р., Моррис М. (2002) Справочник по исследованию цепочек создания стоимости. Международный центр исследований в области развития (IDRC). https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/fisheries/docs/Value_Chain_Handbook.pdf
- Кирхер М. (2021) Биоэкономика — текущее состояние и будущие потребности промышленных цепочек создания стоимости. *New Biotechnol* 60:96–104. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.09.005>
- Лаго-Ольвейра С., Ариас А., Реболledo-Леива Р., Фейхо Г., Гонсалес-Гарсия С., Морейра М.Т. (2024) Мониторинг биоэкономики: цепочки создания стоимости в рамках показателей оценки жизненного цикла. *Clean Circ Bioeconomy* 7100072. <https://doi.org/10.1016/j.cleb.2024.100072>
- Лансон Ф., Темпл Л., Бьенабе Э. (2017) Концепция «Filière» или цепочки создания стоимости: аналитическая основа для политики и стратегий развития. В: Устойчивое развитие и тропические агроцепочки. Springer, Дордрехт, с. 17–28
- Lewandowski I (2015) Обеспечение устойчивых поставок биомассы в условиях растущей биоэкономики. *Glob Food Sec* 6:34–42. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2015.10.001>
- Левандовски И. (2017) Увеличение производства биомассы для поддержания биоэкономики. В: Дабберт С., Левандовски И., Вайс Дж., Пика А. (ред.) Основанные на знаниях разработки в биоэкономике. Экономическая сложность и эволюция. Springer, Шам. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58374-7_10
- Левандовски И., фон Коссель М., Винклер Б., Бауэрле А., Года Н., Кизель А., Левин Э., Магенау Э., Мартинг Видаурре Н.А., Мюллер Б., Шлехт В., Тумм У., Тренкнер М., Варгас-Карпинтеро Р., Вайкерт С., Вайк Дж., Райнмут Э. (2024) Адаптированная система показателей для оценки потенциального вклада подходов биоэкономики в устойчивость сельскохозяйственных систем. *Adv Sustain Sys* 8(7) <https://doi.org/10.1002/adsu.v8.7>, <https://doi.org/10.1002/adsu.202300518>
- Локеш К., Ладу Л., Саммертон Л. (2018) Устранение пробелов для «циркулярной» биоэкономики: критерии отбора,

- Картирование биоснованной цепочки создания стоимости и заинтересованных сторон. *Sustainability* 10:1695. <https://doi.org/10.3390/su10061695>
- Lucian Cearpaz I, Kotbi G, Sauvée L (2016) Территориальный биоперерабатывающий завод как новая бизнес-модель. *Bio-based Appl Econ*. <https://doi.org/10.13128/BAE-15379>
- Mac Clay P, Sellare J (2022) Трансформации цепочки создания стоимости в переходе к устойчивой биоэкономике. *SSRN Electron J*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4193583>
- Mac CP, Feeney R (2019) Анализ цепочек создания стоимости в агробизнесе: обзор литературы. *Int Food Agribus Manag Rev* 22:31–46. <https://doi.org/10.22434/IFAMR2018.0089>
- Мартин Видаурре Н.А., Варгас-Карпинтеро Р., Вагнер М., Ласк Дж., Левандовски И. (2020) Социальные аспекты в оценке биоснованных цепочек создания стоимости. *Sustainability* 12(23):9843. <https://doi.org/10.3390/su12239843>
- Mertens A, Van Lancker J, Buysse J et al (2019) Преодоление нетехнических вызовов в развитии цепочек создания стоимости в биоэкономике: уроки практики. *J Clean Prod* 231:10–20. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.147>
- Монкада Дж., Аристисабаль В., Кардона К. (2016) Стратегии проектирования устойчивых биоперерабатывающих заводов. *Biochem Eng J* 116:122–134. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.06.009>
- Нанголе Э., Митхофер Д., Францель С. (2011) Обзор руководящих принципов и руководств по анализу цепочек создания добавленной стоимости для сельскохозяйственной и лесной продукции. Специальный доклад 17. Всемирный центр агролесоводства, Найроби
- Пальмерос Парада М., Оссевейер П., Посада Дуке Х.А. (2017) Устойчивые биоперерабатывающие заводы: анализ практик включения устойчивости в проектирование биоперерабатывающих заводов. *Ind Crop Prod* 106:105–123. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.052>
- Пальмерос Парада М., Асвелд Л., Оссевейер П., Посада Х.А. (2020) Учет ценностных соображений в процессе принятия решений при проектировании биоперерабатывающих заводов. *Sci Eng Ethics* 26:2927–2955. <https://doi.org/10.1007/s11948-020-00251-z>
- Patel AD, Meesters K, den Uil H et al (2012) Оценка устойчивости новых химических процессов на ранней стадии: применение к биопроцессам. *Energy Environ Sci* 5:8430. <https://doi.org/10.1039/c2ee21581k>
- Patel AD, Meesters K, den Uil H et al (2013) Сравнительная оценка устойчивости новых биопроцессов на ранней стадии. *ChemSusChem* 6:1724–1736. <https://doi.org/10.1002/cssc.201300168>
- Портер М. Э. (1985) Конкурентное преимущество. Создание и поддержание превосходной эффективности. The Free Press, Нью-Йорк
- Посада Дж. А., Патель А. Д., Роес А. и др. (2013) Потенциал биоэтанола в качестве химического строительного блока для биоперерабатывающих заводов: предварительная оценка устойчивости 12 продуктов на основе биоэтанола. *Bioresour Technol* 135:490–499. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.09.058>
- Пика А. (2017) Трансформация экономических систем: пример биоэкономики. В: Дабберт С., Левандовски И., Вайс Дж., Пика А. (ред.) Основанные на знаниях разработки в биоэкономике. Экономическая сложность и эволюция. Springer, Шам. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58374-7_1
- Ронзон Т., Тамосюнас С., Мбарек Р. (2022) Рабочие места и рост в биоэкономике. Управление публикаций Европейского союза, Люксембург, ISBN 978-92-76-47130-1. <https://doi.org/10.2760/323093>. JRC128361
- Scheiterle L, Ulmer A, Birner R, Pyka A (2018) От сырьевых цепочек создания стоимости к сетям создания стоимости на основе биомассы: пример сахарного тростника в биоэкономике Бразилии. *J Clean Prod* 172:3851–3863. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.150>
- Schlecht V, Vargas-Carpintero R, von Cossel M, Lewandowski I (2025) Разработка систем биоэкономики на основе малопродуктивных земель: подход к проектированию и развитию биоцепочек и биосетей. *GCB Bioenergy* 17(5):e70034. <https://doi.org/10.1111/gcbb.70034>
- Sharifzadeh M, Garcia MC, Shah N (2015) Проектирование и функционирование сети цепочки поставок: систематическое принятие решений для централизованного, распределенного и мобильного производства биотоплива с использованием смешанного целочисленного линейного программирования (MILP) в условиях неопределенности. *Biomass Bioenergy* 81:401–414. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.07.026>
- Van Lancker J, Wauters E, Van Huylenbroeck G (2016) Управление инновациями в биоэкономике: перспектива открытых инноваций. *Biomass and Bioenergy* 9060–9069. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.017>
- Vargas-Carpintero R (2025) Разработка интегрированной многокритериальной системы для оценки потенциала внедрения биоснованных цепочек и сетей создания стоимости с использованием территориального подхода. *Ind Crop Prod* 223:120104. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.120104>
- Варгас-Карпинтеро Р., Хильгер Т., Мёссингер Дж. и др. (2021) *Acroscotia* spp.: забытая культура, широко разрекламированная многоцелевая пальма или подходящая для биоэкономики? Обзор. *Агрономия для устойчивого развития*
- Vargas-Carpintero R, Hilger T, Tiede K и др. (2022) Совместный системный подход к развитию цепочек создания стоимости на основе биомассы: пример пальмы *Acroscotia*. *Land* 11:1748. <https://doi.org/10.3390/land11101748>
- Виаджи Д. (2018) *Биоэкономика: обеспечение устойчивого «зеленого» роста*, 1-е изд. CABI. Электронный ISBN: 9781786392763
- Вирхов Д., Бойхельт Т.Д., Кун А., Дених М. (2016) Цепочки создания стоимости на основе биомассы: новая перспектива для развивающихся биоэкономик в странах Африки к югу от Сахары. В: Гатцвайлер Ф., фон Браун Й. (ред.) *Технологические и*

- институциональные инновации для маргинализированных мелких землевладельцев в рамках развития сельского хозяйства. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25718-1_14
- Вирхов Д., Бойхельт Т.Д., Кун А., Дених М. (2016) Цепочки создания стоимости на основе биомассы: новая перспектива для развивающейся биоэкономики в странах Африки к югу от Сахары. В: Гатцвайлер Ф., фон Браун Дж. (ред.) Технологические и институциональные инновации для маргинализированных мелких землевладельцев в рамках развития сельского хозяйства. Springer International Publishing, с. 225–238
- Вольфарт Дж., Фершо Ф., Габриэль Б., Годар К., Курек Б., Лойс К., Теронд О. (2019) Характеристики систем биоэкономики и вопросы устойчивости на территориальном уровне. Обзор. J Clean Prod 232898–232909. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.385>
- Цёрб К., Левандовски И., Киндерватер Р., Гёттерт У., Патцельт Д. (2018) Биоресурсы и цепочки создания стоимости. В: Lewandowski I, Gaudet N, Lask J, Maier J, Tchouga B, Vargas-Carpintero R (ред.) Биоэкономика. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8_5

Открытый доступ. Настоящая глава лицензирована в соответствии с условиями международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает использование, обмен, адаптацию, распространение и воспроизведение на любом носителе или в любом формате при условии указания соответствующей ссылки на оригинального автора (авторов) и источник, предоставления ссылки на лицензию Creative Commons и указания факта внесения изменений.

Изображения или другие материалы третьих лиц, содержащиеся в данной главе, включены в лицензию Creative Commons данной главы, если иное не указано в строке с указанием авторства материала. Если материал не включен в лицензию Creative Commons данной главы, а предполагаемое вами использование не разрешено законодательством или выходит за рамки разрешенного использования, вам необходимо получить разрешение непосредственно у владельца авторских прав.

