

4 Трaектории движения России к углеродной нейтральности

Координирующие лидирующие авторы:

Башмаков И.А. и Турдыева Н.А.

Лидирующие авторы:

**Бродач М.М., Борисов К.Б.,
Дзедзичек М.Г., Лебедев О.В.,
Лунин А.А., Трофименко Ю.В.**

Авторы:

Для цитирования: Башмаков И.А. и Турдыева Н.А., Бродач М.М., Борисов К.Б., Дзедзичек М.Г., Лебедев О.В., Лунин А.А., Трофименко Ю.В. 2027. Устойчивое развитие при движении к углеродной нейтральности. В кн.: Россия в условиях зеленой технологической революции. Стагнация или смена драйверов роста? 2027. Москва.

От стабилизации выбросов парниковых газов (ПГ) на уровне 1990 г. до достижения нулевого баланса выбросов и стоков ПГ – такова эволюция целевых установок России по контролю за выбросами ПГ.	• Ни в одном из обязательств на 10-15 лет Россия не ставила задачу <i>снижения</i> выбросов ПГ от существующего на момент их принятия уровня. Ставилась только задача удержания выбросов на определенную величину ниже уровня 1990 г., решение которой допускало рост выбросов по сравнению с существующим уровнем. • Стратегические документы в сфере контроля за выбросами ПГ – <i>Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов</i> (СНУР) и <i>Климатическая доктрина Российской Федерации</i> – стали первыми документами стратегического планирования в России с временным горизонтом до 2050 и 2060 гг. • В <i>Климатической доктрине Российской Федерации</i> поставлена задача достижения нейтральности по всем ПГ к 2060 г. • В стратегических документах России краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные цели по контролю за выбросами ПГ не сбалансированы, и основная нагрузка по снижению нетто-выбросов ПГ переносится на будущие поколения.
За плечами российских специалистов по прогнозированию динамики выбросов ПГ уже более трети века опыта	• В 2009-2013 гг. отдельные прогнозные группы пришли к выводу о наличии абсолютного предела выбросов ПГ от сектора «энергетика» в России, который никогда и ни при каких условиях не будет превышен. • В более поздних прогнозах сценарии с высокими выбросами ПГ постепенно перестали появляться, зона базовой линии выбросов ПГ существенно сдвинулась вниз, и это стало основой пересмотра целевых установок по контролю за выбросами ПГ.
В 2015-2024 гг. понимание возможности снижения выбросов ПГ и оценки уровня стоков в России заметно эволюционировали. Итогом стала формулировка в 2023 г. в <i>Климатической доктрине</i> задачи достижения углеродной нейтральности не позднее 2060 г.	• Не ограничения на выбросы ПГ стали тормозом экономического роста, а напротив, его торможение по совершенно другим причинам и пересмотр перспектив развития экономики стали фактором кратного снижения верхних оценок будущих уровней выбросов ПГ. • Сценарии предыдущих поколений как с высокими, так и с очень низкими уровнями выбросов ПГ становятся неправдоподобными. • Вера в то, что в России есть возможность к 2060 году нарастить нетто-стоки в секторе ЗИЗЛХ почти на 1 ГтСО₂ или больше стала дополнительной причиной повышения амбиций по контролю за выбросами.

В СНУР целевые индикаторы по контролю за выбросами ПГ установлены только для трех показателей: «выбросы парниковых газов», «поглощения» и «нетто-выбросы». Эффективная реализация обязательства по достижению углеродной нейтральности возможна только при пересмотре СНУР и определения в ней целевых индикаторов для всех секторов.	• Только в стратегических документах по развитию транспортного комплекса России есть задания по снижению выбросов ПГ, однако мониторинг их реализации не ведется, а в новых редакциях этих документов перечень целевых показателей сокращается. • Для секторов «энергетика», «промышленные процессы», «сельское хозяйство» и «отходы» официальные целевые индикаторы по контролю за выбросами ПГ не установлены. • При сохранении сложившихся трендов: ○ целевой ориентир СНУР по контролю за выбросами во всех секторах, кроме ЗИЗЛХ, может быть превышен, ○ целевой ориентир для ЗИЗЛХ уже перекрыт за счет пересмотра инвентаризации.
В данной работе проведен анализ более 30 сценариев декарбонизации для России с горизонтом до 2050-2060 гг., разработанных после 2021 г. с использованием двух десятков долгосрочных моделей, созданных как российскими, так и зарубежными экспертами.	• Для выявления возможных траекторий декарбонизации существует ограниченный опыт использования консорциума моделей и более распространенный опыт использования ансамбля долгосрочных моделей. • Только модельные комплексы Консорциума 5 и ЦЭНЭФ-XXI охватывают выбросы всех ПГ во всех секторах и имеют блоки для приведения оценок выбросов в этих секторах в соответствие с агрегированными показателями НДК.
В фокусе анализа – оценки траекторий декарбонизации и энергоперехода именно для России. Российские исследования по декарбонизации и энергопереходу решают широкий спектр задач.	• Анализ результатов охватывает не только траектории выбросов ПГ в разных секторах, но и определяющие их факторы. • При сопоставлении сценарных оценок важно различать, какие связи модель рассчитывает эндогенно, а какие задает как допущения, а также используемый математический аппарат – оптимизационные, имитационные модели, модели межотраслевого баланса, уровни агрегирования (<i>top-down</i> и <i>bottom-up</i>) и другие особенности.
Полностью сопоставимыми считаются показатели с совпадающим охватом ПГ, территориальными и секторными границами, учетом ЗИЗЛХ, едиными единицами измерения и базовым годом. Полнота публикации результатов сценарных оценок является самостоятельным ограничением сопоставления.	• Разные классы моделей делают акцент на разных механизмах, поэтому результаты каждого класса моделей следует интерпретировать в пределах задач, для решения которых этот класс предназначен. • Способ задания климатической цели определяет, какие переменные и параметры выступают предпосылками (задаются экзогенно), а какие становятся результатами расчетов на модели (эндогенные переменные). • Один и тот же целевой ориентир может быть представлен как ограничение на совокупные выбросы, экзогенная траектория, заданная цена углерода, технологический норматив,

	предпосылка по ЗИЗЛХ или конечное условие достижения нейтральности. • Представление об источниках и условиях финансирования напрямую влияет на оценку темпов и стоимости энергоперехода. • Сценарные результаты рассматриваются как условные оценки при заданных предпосылках. • Сопоставление не используется для ранжирования вариантов по вероятности или оптимальности.
Только в сценариях с очень высокими темпами роста ВВП при отсутствии дополнительных мер политики нетто-выбросы ПГ к 2060 г. могут вырасти или оставаться на полке.	• Имеющиеся сценарные прогнозы показывают, что траектории достижения углеродной нейтральности или нейтральности по всем ПГ к 2060 г. существуют. • Однако систематический и существенный пересмотр инвентаризации сильно влияет на геометрию этих траекторий.
Опубликованные сценарии не образуют единой траектории движения к углеродной нейтральности. Все сценарные прогнозы динамики выбросов ПГ можно разделить на два семейства: <i>Forest Last</i> и <i>Forest First</i>.	• Авторы первой группы показывают, что есть возможности декарбонизации многих секторов экономики России. • Авторы второй группы полагают, что задача решается преимущественно за счет масштабного наращивания стоков в ЗИЗЛХ при умеренных усилиях по декарбонизации остальных секторов. • Близкие уровни нетто-выбросов ПГ могут достигаться при принципиально различной нагрузке на энергетику, промышленность, транспорт, здания и ЗИЗЛХ. • Поэтому валовые выбросы и поглощения необходимо сопоставлять отдельно: один и тот же показатель чистых выбросов может соответствовать различным механизмам декарбонизации.
В сфере эволюции энергобаланса стратегическое видение правительства и отдельных аналитических структур, готовящих для него обоснования, можно выразить формулой: <i>3F</i> – «<i>Fossil Fuels Forever</i>».	• Потребление первичной энергии заметно растет только в сценариях с допущениями об очень высоких темпах роста ВВП и об отсутствии дополнительных мер политики по повышению энергоэффективности и по контролю за выбросами. • Специалисты РЭА и ЦЭНЭФ-XXI смогли уйти от видения будущего через призму <i>3F</i> и видят возможности снижения доли ископаемого топлива в энергобалансе к середине века до 54-78%, включая значительную часть нефти и газа, используемых в качестве сырья в нефте- и газохимии и при производстве водорода.
Уровень согласия сценарных прогнозов развития электроэнергетики России довольно низкий.	• Только в сценариях с высокими темпами экономического роста и сохранением текущих мер политики возможен рост выбросов ПГ в секторе генерации электроэнергии.

Одна из причин – широкий разброс допущений относительно перспектив экономического роста.	• При менее амбициозных допущениях о возможном росте экономики сценарные оценки показывают снижение выбросов ПГ, глубина которого зависит от набора мер политики по декарбонизации электроэнергетики. • Для сценариев с решительными мерами политики выбросы в 2050 г. составляют примерно половину от их уровня в 2023 г.
Сценарные оценки потребления электроэнергии определяются не только темпами роста ВВП, но и набором мер по декарбонизации экономики. Сохранение широких диапазонов для отдельных видов генерации даже для сценариев с решительными мерами политики отражает разные предпочтения в отношении отдельных технологий.	• Разброс оценок выработки электроэнергии на ТЭС очень широк. Только в сценариях с решительными мерами политики выработка на ТЭС заметно снижается до узкого диапазона, на основе которого можно формировать целевые установки по генерации на ТЭС в стратегических документах по достижению углеродной нейтральности. • Уровень согласия прогнозов в отношении выработки электроэнергии на бестопливных источниках довольно низкий. • Диапазон оценок генерации на ВИЭ в 2060 г. очень широк: от 15 до 1264 млрд кВт-ч. • Атомная энергетика сохраняет заметную роль во всех рассматриваемых российских сценариях глубокого сокращения выбросов, но ее сочетание с ВИЭ и газовой генерацией различается.
Для достижения углеродной нейтральности по стратегии <i>Forest First</i> необходимо:	• остановить тренд к снижению нетто-стоков; • нарастить нетто-стоки. • Решение тендема этих задач независимо от корректности новой оценки стоков равнозначно их увеличению на фантастические 1,5 ГтСО₂ за счет использования потенциала природных экосистем.
В рассмотренных работах используются разные метрики затрат на декарбонизацию, что затрудняет сравнение затрат и эффектов для сценариев, полученных на разных моделях. Низкая сопоставимость оценок и многочисленность метрик затрат сдерживают принятие стратегических решений по выбору траекторий движения к углеродной нейтральности.	• Потребность в инвестициях одновременно является параметром технологического перехода и каналом макроэкономического воздействия. • Оценки влияния мер по декарбонизации на ВВП сильно различаются в разных сценариях. • Отдельного обсуждения заслуживает наличие пороговых значений долей затрат на энергию и доли инвестиций в митигацию в ВВП в качестве критерия реализуемости сценариев. • Полученные оценки значений цен на углерод корректнее рассматривать как индикаторы жесткости конкретной модельной постановки, а не как единый прогноз рыночной цены углерода.
Для российской экономики переходный риск формируется как внутренней трансформацией, так и внешними условиями.	• В ряде сценариев изменения мирового спроса на ископаемое топливо, экспортных цен, доступа к рынкам и технологиям дают более сильный макроэкономический эффект, чем умеренное внутреннее ограничение выбросов ПГ.

Сопоставление сформированных разными группами экспертов траекторий декарбонизации позволяют выявить несколько результатов, в отношении которых есть высокая степень согласия:	• Энергоэффективность является неотъемлемой частью пакета мер политики декарбонизации, снижает масштаб необходимой трансформации, но без дополнения другими мерами не обеспечивает глубокого сокращения выбросов ПГ. • Электрификация конечного спроса повышает значение низкоуглеродной генерации, развития сетей, резервирования и использования накопителей. • Нет одной технологии генерации, позволяющей решить задачу энергоперехода: сценарии глубокого сокращения выбросов ПГ опираются на сочетание атомной, гидро- и возобновляемой генерации; в ряде сценариев генерация на газе сохраняет функции балансирования и основы теплоснабжения. • Внешняя климатическая политика воздействует на российскую экономику и может оказывать большее влияние, чем умеренное внутреннее ограничение выбросов. • Учет ЗИЗЛХ способен изменить траекторию движения к углеродной нейтральности на сотни МтСО₂, поэтому валовые выбросы и поглощение должны рассматриваться раздельно.
Ключевые развилки на траекториях декарбонизации:	• <i>Forest First</i> или <i>Forest Last</i>: увеличение поглощения как основной механизм либо раннее сокращение валовых выбросов во всех секторах. • Временной баланс между повышением энергоэффективности или декарбонизацией предложения энергии: снижение потребности в мощности либо быстрое наращивание низкоуглеродной генерации. • АЭС-газовые ТЭС: АЭС-ВИЭ-газовые ТЭС, или технологически нейтральная смешанная электроэнергетика, построенная с учетом различий системных затрат, сроков строительства и технологической зависимости. • Ускоренная электрификация или сохранение прямого использования топлива в теплоснабжении, промышленности, на транспорте и в зданиях. • Водород и CCS как массовые решения либо как нишевые опции для трудноустраняемых выбросов. • Адаптация экспортной модели к сокращению спроса на углеводороды либо опережающая диверсификация выпуска и экспорта продукции. • Внутренняя углеродная политика как инструмент структурной трансформации либо преимущественно как реакция на внешнее регулирование. • Координированный с другими странами глобальный переход либо фрагментированная

	трансформация с более дорогими технологиями и ограниченной торговлей.
Наблюдаемое широкое расхождение сценарных результатов имеет несколько слагаемых:	• разные представления о внешнем мире; • различные климатические цели; • различная оценка роли ЗИЗЛХ; • различия в свойствах моделей и в полноте раскрытия результатов сценарных расчетов. • Гармонизация социально-экономических предпосылок сужает, но не устраняет межмодельный разброс оценок. • Одинаковая технологическая предпосылка может приводить к разным макроэкономическим результатам в зависимости от различий в модельной архитектуре.
Несмотря на признание необходимости оценки реализуемости оцененных на моделях траекторий декарбонизации, предлагаемые для этого методические подходы немногочисленны, чрезмерно схематичны и носят слишком общий характер.	• Для комплексной оценки реализуемости полученных на моделях траекторий декарбонизации важно использовать новые междисциплинарные аналитические подходы. • Прогнозные траектории могут быть эффективно реализуемыми, если учитывают все три базовые схемы принятия инвестиционных и управленческих решений: ○ удовлетворенность; ○ оптимизация; ○ трансформация системы.
Политика декарбонизации может быть эффективной, только если ее архитектура опирается на пять опор:	• технологии; • регулирование, стратегии и программы; • стимулы и финансирование; • институты; • человеческий капитал. • Наличие пяти опор определяет лишь необходимые условия. • Достаточные условия включают способность этих опор нести декарбонизационную нагрузку и их сбалансированность для реализации отдельных низкоуглеродных траекторий.
Работ, посвященных системному анализу необходимых и достаточных условий достижения углеродной нейтральности для России, очень мало.	• По сути, только усилиями ЦЭНЭФ-XXI подготовлены дорожные карты по декарбонизации к 2060 г. электроэнергетики, теплоэнергетики, углеродоемких отраслей промышленности, автомобильного транспорта, жилых зданий и производства водорода. • В них заданы целевые ориентиры по периодам и описаны необходимые шаги для их достижения.
Большой проблемой при оценке реализуемости прогнозных траекторий декарбонизации является отсутствие оценок их	• Для оценки реализуемости отдельных сценариев предлагается использовать метод семи матриц: ○ матрица сценариев; ○ матрица взаимосвязей переменных модели;

возможного влияния на экономических агентов и на их способность формально или неформально консолидироваться, используя различные институты, чтобы продвигать эту политику или, напротив, противостоять ей.	○ матрица изменений экономического положения основных классов и социальных групп; ○ матрица изменения положения страны в системе мирохозяйственных связей; ○ матрица изменения расстановки внутривнутриполитических сил; ○ матрица изменения положения страны в системе международных отношений; ○ матрица решений. • Этот метод позволяет сопоставить исходные гипотезы, на которых были построены сценарии, с выводами, полученными в результате создания матрицы решений, сформированной комплексной многосторонней экспертной группой, объединяющей специалистов из разных научных сфер, и на этой основе оценить реализуемость отдельных сценариев.
В сфере долгосрочного прогнозирования выбросов ПГ в России существуют явные пробелы в знаниях.	• Оценки ключевой для семейства сценариев <i>Forest First</i> долгосрочной динамики объема нетто-стоков в секторе ЗИЗЛХ не имеют под собой надежной методической базы. • Дополнительные исследования требуются для повышения надежности оценок возможностей декарбонизации: ○ промышленных процессов; ○ сектора сельского хозяйства; ○ сектора отходов. • Желательно облегчить доступ к результатам модельных исследований для обеспечения более полного и качественного их сопоставления. • Важно стимулировать исследования по системному анализу необходимых и достаточных условий достижения углеродной нейтральности в России для каждого из секторов.

4.2 Эволюция прогнозных оценок и целей по контролю за выбросами в стратегических документах Российской Федерации

4.2.1 Основные стратегические и нормативные документы и изменение целевых установок по контролю за выбросами парниковых газов

От стабилизации выбросов парниковых газов (ПГ) на уровне 1990 г. до достижения нулевого баланса выбросов и стоков ПГ – такова эволюция целевых установок России по контролю за выбросами ПГ. С момента подписания Киотского Протокола прошло почти 30 лет. За это время Россия, как и многие другие страны, приняла широкий спектр нормативных документов, устанавливающих и корректирующих целевые установки по контролю за выбросами ПГ (табл. 4.1). Некоторые из этих документов устанавливали

количественные цели на 10-15 лет вперед. После подписания Парижского соглашения горизонт целеполагания расширился сначала до 2050 г., а затем и до 2060 г.

Ни в одном из обязательств на 10-15 лет Россия не ставила задачу снижения выбросов ПГ от существующего на момент их принятия уровня. Как в обязательствах по Киотскому Протоколу, так и в обязательствах, принятых в развитие соглашения в Копенгагене в 2009 г., а также в определяемом на национальном уровне вкладе (ОНУВ) 1 и 2 по Парижскому соглашению Россия обязалась удерживать выбросы ПГ на определенную величину ниже уровня 1990 г. Соответствующее абсолютное целевое значение во всех этих случаях заметно превышало уровень выбросов на момент принятия нормативного акта (табл. 4.1). В 2025 гг. Россия представила новый ОНУВ. Его цель:

«обеспечить к 2035 году сокращение выбросов парниковых газов до 65-67% от уровня 1990 года с учетом максимально возможной поглощающей способности лесов...»

Иными словами, чистые выбросы ПГ в 2035 г. не должны превышать 65-67% от уровня 1990 г. Формулировка «сокращение» требует оговорки, поскольку, согласно пересмотренному российскому кадастру, чистые выбросы ПГ в 2022 г. составили 31,3% от уровня 1990 г. Следовательно, поставленная цель может быть достигнута даже при удвоении чистых выбросов, поэтому при интерпретации цели важно отделять сокращение относительно базового 1990 г. от изменения выбросов относительно текущего уровня.

Стратегические документы в сфере контроля за выбросами ПГ – *Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов*¹ (СНУР) и *Климатическая доктрина Российской Федерации* – стали первыми документами стратегического планирования в России с временным горизонтом до 2050 и 2060 гг. В Климатической доктрине Российской Федерации поставлена задача достижения нейтральности по всем ПГ к 2060 г. В СНУР сказано, что основой для реализации *Стратегии* является *Целевой сценарий*. Для него даны цифры не относительного, а абсолютного снижения нетто-выбросов всех ПГ на 2456,6 МтСО₂э (3086,6 уровень выбросов ПГ в 1990 г. по инвентаризации 2021 г. минус 630 – целевой уровень СНУР на 2050 г.). Однако по пересмотренному кадастру (НДК, 2026) объем нетто-выбросов в 1990 г. был снижен до 2454 МтСО₂э.² По этой арифметике получается, что, согласно установкам СНУР, нетто-выбросы ПГ уже в 2050 г. должны уйти в отрицательную зону.

¹ Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р. – Москва, 2021.

² О том, как менялись целевые установки по контролю за выбросами по мере пересмотра данных кадастра выбросов ПГ, см. главу 2.

Таблица 4.1 Эволюция обязательств Российской Федерации по контролю за выбросами парниковых газов

Целевая установка от уровня 1990 года	нормативный акт и статус выполнения	комментарии	базовый уровень нетто-выбросов (Мт CO ₂ э) и снижение от уровня 1990 г. на момент принятия* (%)
0% в 2008-2012 гг.	Федеральный закон «О ратификации Киотского протокола к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата» от 04.11.2004 № 128-ФЗ (последняя редакция). Выполнено	Россия приняла обязательство о непревышении среднегодовым уровнем выбросов ПГ в 2008-2012 годах уровня выбросов 1990 года.	3323,4 -53,9%
-25% к 2020 г.	Указ Президента Российской Федерации от 30.09.2013 № 752 «О сокращении выбросов парниковых газов». Выполнено.	Закрепил достигнутые в 2009 году в Копенгагене договоренности. Россия обязалась удерживать выбросы до 2020 года на уровне, не превышающем 75% от значения 1990 г.	НДК 2013 3450 -57%
-20-25% к 2025 г.	Распоряжение Правительства РФ от 14 апреля 2016 года № 670-р. «О подписании Парижского соглашения об изменении климата». Постановление Правительства РФ от 21 сентября 2019 г. № 1228 «О принятии Парижского соглашения». Выполнено.	Россия обязалась ограничить выбросы ПГ к 2025 г. уровнем не выше 70-75% от значения 1990 г., а к 2030 г. – уровнем, не выше 70% от значения 1990 г.	НДК 2016 3532 -50%
-30% к 2030 г.	Указ Президента Российской Федерации № 666 от 4 ноября 2020 г.	Россия обязалась удерживать уровень выбросов ПГ до 2030 г. ниже 70% от уровня 1990 г.	НДК 2020 3110 -48%
Россия-ЕС – 1:1	Выступление Президента Российской Федерации на ПМЭФ в 2021 г.	Поручение Правительству до 1 октября 2021 г. разработать подробный план снижения выбросов к 2050 году до уровня ниже, чем в ЕС.	НДК 2021 3087 -49%
2456,5 МтCO₂э -80% или -100,1%** к 2050 г.	Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года».	В Целевом сценарии СНУР требуется снижение нетто-выбросов ПГ к 2050 г. до 630 МтCO ₂ э.	НДК 2021 3087 -49%
-100% к 2060 г.	Указ Президента Российской Федерации от 26 октября 2023 г. № 812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации».	В следующей формулировке: достижение баланса между антропогенными выбросами парниковых газов и их поглощением.	НДК 2023 3089 -47%
-33-35% к 2035 г.	Указ Президента Российской Федерации от 6 августа 2025 года № 547 «О сокращении выбросов парниковых газов».	Россия обязуется сократить выбросы парниковых газов до уровня 65–67% от базового уровня 1990 года.	НДК 2025 2427 -63%

* нетто-выбросы (Мт CO₂э) в 1990 г. и снижение от уровня 1990 г. на момент принятия нормативного акта (%).

1 Источники: Указы Президента Российской Федерации, нормативные акты Правительства РФ, НДК за разные
2 годы.

3 В *Климатической доктрине* Россия приняла обязательство по достижению баланса между
4 антропогенными выбросами и поглощением по всем парниковым газам, а не только по CO₂.
5 В узком терминологическом смысле углеродная нейтральность относится к балансу
6 выбросов и стоков CO₂, тогда как нулевой баланс всех ПГ является более широким
7 условием. В Шестом Оценочном докладе МГЭИК ставится задача достижения только
8 углеродной нейтральности, а на траекториях, ограничивающих потепление уровнем 1,5-
9 2°C, выбросы метана и закиси азота снижаются значительно, но не до нуля (IPCC, 2022).
10 Причины выбора более широкого охвата требуют отдельного объяснения; для
11 сопоставления сценариев важно не смешивать углеродную нейтральность и нулевой баланс
12 всех ПГ.

13 4.2.2 Причины пересмотра официальных целевых ориентиров

14 За плечами российских специалистов по прогнозированию динамики выбросов ПГ в
15 России уже более трети века опыта. Первые прогнозы были опубликованы еще для СССР
16 в самом начале 1990-х годов в работах И. Башмакова, А. Макарова, Ю. Синяка и Ю.
17 Кононова (Bashmakov and Makarov, 1990; 1991; Башмаков, 1992; Синяк, 1993; Kononov,
18 1993). В этих работах ставилась амбициозная задача поиска возможностей стабилизации
19 уровня выбросов CO₂ в секторе «энергетика» на уровне 1988-1990 гг. Временной горизонт
20 в этих работах ограничивался 2020-2030 гг. Только после 2006 г. стали появляться работы
21 с горизонтом прогноза до 2050 г. По всей видимости, одной из первых стала работа
22 (Bashmakov, 2006). Затем появились и другие работы с горизонтом до 2050-2060 гг.: А.
23 Макаров (2008, 2 сценария), Ю. Синяк (2007 г., 3 сценария с прогнозами до 2060 г.) и И.
24 Башмаков (2009, 21 сценарий). Все эти прогнозы ограничивались сектором «энергетика».

25 В 2009-2013 гг. отдельные прогнозные группы пришли к выводу о наличии
26 абсолютного предела выбросов ПГ от сектора «энергетика» в России, который
27 никогда и ни при каких условиях не будет превышен. Перед встречей РКИК ООН в
28 Париже в 2015 г. популяция российских долгосрочных прогнозов значительно выросла.
29 Опыт систематизации долгосрочных прогнозов динамики выбросов ПГ в России имеет
30 историю. Башмаков и Мышак (2014 г.) дали анализ уже 71 сценария из 26
31 исследовательских работ. Все сценарии были разделены на 5 семейств. Разброс «второй
32 волны» прогнозных оценок выбросов ПГ на 2050 г. составил от 220 до 6500 МтCO_{2э} в
33 зависимости от макроэкономических допущений, отражения степени интенсивности мер
34 политики по снижению выбросов и других особенностей и допущений сценариев.

35 Семейства сценариев с высокими выбросами ПГ постепенно перестали появляться в
36 новых прогнозах, и это стало основой пересмотра целевых установок по контролю за
37 выбросами ПГ. Сначала в работе Башмакова (2009) 21 сценарий был сгруппирован в
38 четыре семейства. Затем Башмаков и Мышак (2014 г.) добавили еще одно семейство и
39 распределили 71 сценарий по пяти семействам. Семейство сценариев «Дорога Сизифа» с
40 уровнями выбросов ПГ в 2050 г. свыше 5 ГтCO_{2э} опиралось на гипотезу о возможности
41 быстрого «закатывания» российской экономики в гору экономического развития при
42 сохранении модели сырьевой экономики. Реализация этого сценария была оценена как
43 наименее вероятная, долгосрочный устойчивый рост при принятых допущениях
44 невозможен, и камень энергоемкой и капиталоемкой российской экономики в такую
45 крутую гору экономического роста не закатить (см. Башмаков, 2009 и главу 3). Ни один из
46 сценариев, сделанных российскими специалистами после кризиса 2008-2009 гг., в зону
47 «Дороги Сизифа» уже не попал. Семейство сценариев «Зона базовой линии» опиралось на
48 гипотезу о том, что проблемы динамичного развития экономики при низком уровне
49 энергоэффективности и обеспечения экономического роста энергоресурсами будут, как и
50 ранее, решаться на основе максимального наращивания их производства. Это приводит к

сокращению потенциала экспорта углеводородов, истощению их запасов, и в итоге развитие тормозится. Поэтому в Башмаков (2009) это семейство носило название «Тормозящее развитие», и уже тогда было сформулировано заключение о низкой вероятности его реализации. Семейство сценариев «Углеродное плато» включало сценарии, которые показывают возможность некоторого роста выбросов с последующей стабилизацией к 2050 г. на уровне, близком к уровню 1990 г. (в зоне примерно +10%). Было сформулировано заключение, что это наиболее вероятная зона динамики выбросов от сектора «энергетика». Семейство сценариев «Низкоуглеродная Россия» характеризовалось тем, что понижение высоты плато и последующее снижение выбросов достигается за счет мер политики по контролю эмиссии ПГ. Наконец, семейство сценариев «Низкоуглеродная Россия – агрессивная политика» предполагает возможность существенного снижения выбросов к 2050-2060 гг. за счет резкой активизации политики ограничения выбросов. Это семейство наметило первые траектории движения к углеродной нейтральности.

Ни в одном из 30 сценариев, подготовленных накануне встречи в Париже в 2015 г., потолок выбросов ПГ в 2050 г. не превышал 3,1 ГтСО₂, а зона базовой линии выбросов ПГ существенно сдвинулась вниз. В 2014 г. ЦЭНЭФ реализовал проект «Затраты и выгоды низкоуглеродной экономики и трансформации общества в России» (Башмаков (ред.), 2014). Его главной целью стало определение затрат и выгод, связанных со стратегиями низкоуглеродного развития России до середины XXI века и далее. К его реализации были привлечены нескольких российских и зарубежных исследовательских групп. Одной из задач этой работы было обоснование позиции российской делегации по обязательствам в рамках Парижского соглашения. Расчеты проводились только для сектора «энергетика». Пересмотр возможностей развития экономики привел к смещению вниз уровня верхних оценок для 2050 г. на 1,5-3,2 ГтСО₂. В рамках этого проекта были получены следующие выводы. Первое: с очень большой вероятностью выбросы ПГ от сектора «энергетика» до 2060 г. выйдут на абсолютный пик, который будет по меньшей мере на 11% ниже уровня выбросов 1990 г. Второе: развитие по сценариям с «действующими» мерами политики формирует зону «базовой» линии, которая до 2050 г. не достигает значения 1990 г. После выхода на пик во многих сценариях уже к 2050 г. выбросы ПГ начинают сокращаться. Третье: набор мер политики, структурные и технологические параметры развития экономики более значимы при определении траекторий выбросов ПГ, чем темпы роста ВВП. Четвертое: для всех сценариев с «решительными» мерами при любых темпах роста ВВП выбросы остаются на 35% ниже уровня 1990 г.

В 2015-2024 гг. понимание возможности снижения выбросов ПГ в России заметно эволюционировало. Его итогом стала формулировка в 2023 г. в *Климатической доктрине* задачи достижения углеродной нейтральности не позднее 2060 г., хотя еще в 2021 г. в СНУР была поставлена более скромная задача. С каждым годом популяция долгосрочных прогнозов российских экспертов продолжала расти. В нее вошли прогнозы (И. Макаров и др., 2018; Laitner et al., 2020; Safonov et al., 2020; Башмаков и др., 2022, 2023; Широ́в А.А. и А.Ю. Колпаков, 2023; РЭА, 2024; Консорциум 5, 2024; ВЭБ, 2024 и др.). Анализ последних по времени прогнозов дан в (Башмаков, 2025). В работах (Safonov et al., 2020; Laitner et al., 2020) подчеркивается близорукость стратегий, которые игнорируют преимущества перехода к низкоуглеродной экономике. По мнению этих авторов, положительные эффекты позволяют ускорить рост ВВП на 0,6% в 2015–2030 годах и на 1,3% в 2030–2050 годах).

При поиске ответа на вопрос: что делать для достижения углеродной нейтральности в актуальном множестве сценариев предлагается главная развилка: *Forest First (2F)* или *Forest Last*). В ряде последних работ (Башмаков и др., 2022; Башмаков, 2022а, 2023а; Bashmakov, 2024а; Широ́в А.А. и А.Ю. Колпаков, 2023; Консорциум 5, 2024) прогнозные оценки даны по полному охвату секторов, а не только по сектору «энергетика». Все имеющиеся сценарные прогнозы можно разделить на две группы:

1 *Forest First* и *Forest Last* (см. их анализ в Башмаков, 2025). Авторы первой группы
2 прогнозов (Широв А.А. и А.Ю. Колпаков, 2023; Консорциум 5, 2024; ВЭБ, 2024) не
3 видят возможности снижения выбросов во всех секторах до 2040 г. К 2060 г. выбросы
4 снижаются, но только на 26% от уровня 2021 г. Задача декарбонизации в основном
5 решается за счет увеличения стоков в ЗИЗЛХ на 1 ГтСО₂экв – стратегия 2F: *Forest*
6 *First*. После пересмотра кадастра и «бухгалтерского» увеличения нетто-стоков в
7 ЗИЗЛХ с 558 млн тСО₂ в 2021 г. до 1229 МтСО₂ (см. главу 2) может показаться, что
8 у этой задачи есть решение. В этих сценариях декарбонизация электроэнергетики
9 откладывается до 2035 г.

10 Авторы второй группы прогнозов (*Forest Last*) исходят из возможности декарбонизации
11 многих секторов экономики России (Bashmakov, 2024a; РЭА, 2024). В сценариях РЭА
12 (2024) «выбросы от использования энергоресурсов» сохраняются на нынешнем уровне
13 только в сценарии «Все как встарь». РЭА считает реализуемым сценарий «Рациональный
14 технологический выбор». В нем выбросы ПГ к 2050 г. падают на 38%. Сценарий «Чистый
15 ноль» рассматривается как менее вероятный. В нем выбросы падают на 70%, что даже при
16 прежней оценке стоков позволяло решать задачу достижения углеродной нейтральности к
17 2060 году. В работах (Башмаков и др., 2022; Башмаков, 2022a, 2023a; Bashmakov, 2024a)
18 показано, что задача поиска для России траектории, по которой она может достичь
19 углеродной нейтральности к 2060 году, имеет решение за счет снижения выбросов во всех
20 секторах и при решении задачи заметного замедления снижения нетто-выбросов в секторе
21 ЗИЗЛХ. Последние прогнозы российских специалистов, а также прогнозы зарубежных
22 аналитических центров подробно рассмотрены ниже в этой главе.

23 **Одной из основных причин пересмотра прогнозных оценок динамики выбросов ПГ**
24 **вниз стало снижение прогнозных темпов роста ВВП. Не ограничения на выбросы ПГ**
25 **стали тормозом экономического роста, а напротив, его торможение по совершенно**
26 **другим причинам и пересмотр перспектив развития экономики стали фактором**
27 **кратного снижения верхних оценок возможных будущих уровней выбросов ПГ.**
28 Прогнозы динамики численности населения до 2050 г. в 2008-2024 гг. мало изменились: в
29 них предполагалась либо стабилизация, либо снижение численности населения. А вот
30 оптимизма в прогнозах роста ВВП существенно поубавилось. В 2008 г., решая задачу
31 удвоения ВВП в 2010-2020 гг., МЭР разработало в трех сценариях «Концепцию
32 долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации» (КДР), в
33 которой темпы роста ВВП до 2020 г. задавались в диапазоне 4,3-6,4%. ИНП РАН
34 предполагал, что в 2005-2030 гг. темпы роста ВВП могут составить 5,3-8% в год (ИНП,
35 2007). Эксперты Goldman Sachs (2003) прогнозировали рост ВВП на 7,3% в 2000-2025 гг. и
36 на 3,8% в год в 2026-2050 гг. PricewaterhouseCoopers полагали, что в 2005-2050 гг. рост
37 составит 4,6% в год в долларах и 2,7% в сопоставимых рублях. Как показано в главе 3,
38 фактические среднегодовые темпы роста ВВП России составили 1% в 2008-2021 гг., а в
39 2021-2025 гг. (без учета роста вклада оборонной промышленности) – 1,4%. То есть
40 гипотетические темпы роста ВВП МЭР оказались на 3-5% выше факта. Это означает, что
41 фактический рост ВВП в 2008-2020 гг. оказался в 1,5-1,9 раза ниже прогнозных оценок. В
42 КДР, 2008 г. МЭР также были приняты оптимистичные допущения о снижении
43 энергоемкости ВВП на 2,6-3,9% в год в 2007-2020 гг. На самом деле, она снижалась только
44 на 0,8% в среднем в год (см. главу 3). Итогом влияния только этих двух факторов –
45 переоценки темпов роста ВВП и темпов снижения энергоемкости – стало снижение уровня
46 выбросов ПГ в секторе «энергетика» в 2020 г. на 17-27% по сравнению с прогнозами тех
47 лет. В последующие годы пересмотр перспектив развития экономики России и темпов
48 снижения энергоемкости также стал фактором снижения прогнозных оценок выбросов ПГ.
49 К сожалению, многие прогнозы не определяют будущее, а являются либо продуктом
50 прошлого, перенося текущие параметры развития на долгосрочную перспективу и не
51 пытаясь выявить проблемы и противоречия перспективного развития экономики (см. главу

3), либо отражением необоснованных амбиций. В те годы были и другие прогнозы, которые показывали, что платой за неуспешную модернизацию в «десятих» годах может стать утрата способности экономики к расширенному воспроизводству в «сороковых», а возможно, уже в «тридцатых», а при заметном снижении добычи нефти возможен болезненный переход к экономике «шагреновой кожи» – модели с устойчиво сужающимся ВВП при заметном снижении добычи нефти, и что без эффективной модернизации и повышения производительности всех факторов производства в середине XXI в. в России экономического роста не будет (Башмаков, 2011).

Сжатие диапазона прогнозных оценок динамики выбросов ПГ за счет снижения прогнозных темпов роста ВВП – это общая тенденция эволюции прогнозов выбросов ПГ в мире. В основе нового набора сценариев для седьмого этапа Проекта взаимного сравнения связанных моделей (CMIP7, Hausfather, 2026; Van Vuuren et al., 2026) лежат обновленные социально-экономические допущения, которые описывают более перенаселенную и менее богатую планету.

Сценарии предыдущих поколений как с высокими, так и с очень низкими уровнями выбросов ПГ становятся неправдоподобными. Становится ясно, что заступ за порог потепления в 1,5°C неизбежен (IEA, 2025; DNV, 2025). В повестку возвращается глобальная цель ограничить потепление 2°C (Башмаков, 2026). В группы сценариев CMIP7 больше не включаются «базовые» сценарии, предполагавшие отсутствие климатической политики. Им на смену пришли сценарии с текущими мерами политики, но с возможным откатом от них. В сценариях с выходом на пик глобального потепления требуются большие объемы удаления CO₂ из атмосферы.

Пересмотры данных национального кадастра выбросов ПГ также стали важным фактором пересмотра официальных целевых ориентиров по контролю за выбросами ПГ. Были существенно снижены оценки фугитивных выбросов (на 763 МтCO₂³, см. главу 2). Планетарного масштаба достиг пересмотр объемов выбросов и стоков ПГ в секторе ЗИЗЛХ (для 2007 г. оценка нетто-стока в инвентаризации за 2026 г. оказалась на 1,4 ГтCO₂, т. е. в 4 раза, выше значения в кадастре 2015 г. (см. главу 2). Это оказало большое влияние на повышение амбициозности целевых установок в надежде достичь их при движении по траектории *Forest First* (Широв А.А. и А.Ю. Колпаков, 2023; Консорциум 5, 2024).

Наконец, вера в то, что в России есть возможность еще нарастить нетто-стоки в секторе ЗИЗЛХ почти на 1 ГтCO₂ к 2060 г., стала дополнительной причиной повышения амбиций по контролю за выбросами. В *Целевом* сценарии СНУР «поглощения» растут с 535 Мт CO₂ в 2019 г. до 1200 МтCO₂ в 2050 г., или на 665 МтCO₂. В *Целевом* сценарии Консорциума 5 (2024) к 2060 г. «поглощения» растут уже до 1500 МтCO₂, или на 965 МтCO₂. Уверенность в возможности такого наращивания стоков и стала основой принятого в *Климатической доктрине* обязательства по выходу на нулевой баланс выбросов и стоков к 2060 г.

4.2.3 Соотношение краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных официальных целевых ориентиров

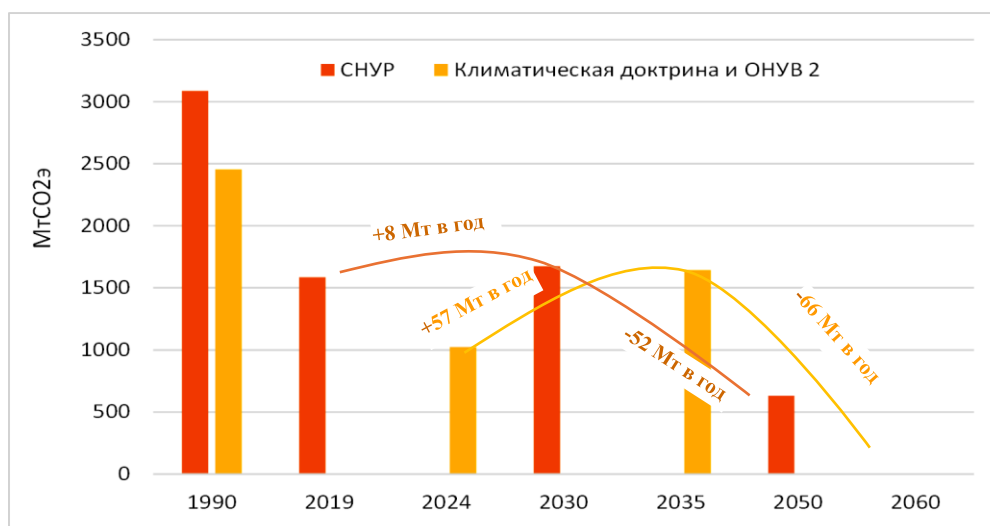
В стратегических документах – СНУР, Климатической доктрине и ОНУВ-2 – краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные цели по контролю за выбросами ПГ не сбалансированы, и основная нагрузка по снижению нетто-выбросов ПГ переносится на будущие поколения. Анализ показывает несогласованность во времени официальных целевых ориентиров по контролю за выбросами (см. рис. 4.1). В СНУР предполагается, что до 2030 г. нетто-выбросы могут расти в среднем на 8 МтCO₂ в год, а затем начнется их динамичное снижение в среднем на 52 МтCO₂ в основном за счет наращивания стоков в секторе ЗИЗЛХ на 33 МтCO₂ в год. В 2010-2024 гг. нетто-выбросы

³ Пересмотр кадастра в 2018 г.

во всех секторах росли на 47 МтСО₂ в год, а нетто-стоки в ЗИЗЛХ сокращались на 36 МтСО₂ в год. Таким образом, требуется обеспечить прирост стока на 69 (33+36) МтСО₂ в год по сравнению с последними трендами для нейтрализации потери стока и для его наращивания. Принятый ОНУВ-2 (см. табл. 4.1) допускает возможность увеличения выбросов до 2035 г. в среднем на 57 МтСО₂ в год. Это на 10 МтСО₂ больше среднегодового прироста нетто-выбросов в 2010-2024 гг. (47 МтСО₂ в год) и превышает годовые выбросы ПГ Португалии или Швеции.

Если выбросы достигнут верхней границы ОНУВ-2, то после 2035 г. для достижения углеродной нейтральности нетто-выбросы должны снижаться на 66 МтСО₂ в год. ИНП РАН, который проводил эти расчеты (Широв А.А. и А.Ю. Колпаков, 2023) утверждает, что использовалась оптимизационная модель. Такой временной профиль в оптимизационной постановке требует отдельного объяснения параметров модели, включая ставку дисконтирования (чем она выше, тем в большей степени решение задачи декарбонизации перекладывается на будущие поколения) и межвременные ограничения; без соответствующего анализа чувствительности однозначно связать его с одним параметром нельзя. Для обоснования возможностей снижения годовых выбросов на 52-66 МтСО₂ в год требуется тщательный анализ пределов изменений ключевых факторов, определяющих динамику выбросов ПГ.

Рисунок 4.1 Соотношение краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных целей по контролю за выбросами ПГ*



*Значения выбросов за 1990 г. даны по НДК 2021 г. и 2026 г.

Источники: расчет авторов.

4.3 Ансамбль моделей и набор траекторий движения России к углеродной нейтральности

Существует ограниченный опыт использования консорциума моделей и более распространенный опыт использования ансамбля долгосрочных моделей для выявления возможных траекторий декарбонизации. Применительно к России к первому можно отнести работу Консорциума 5 (2024). Его возглавил (координировал) ИНП РАН, а также в него вошли еще пять институтов Российской Академии наук: ИНЭИ РАН, ИМЭМО РАН, ИСЭМ СО РАН, ИЭОПП СО РАН и ОИВТ РАН. В России есть опыт применения и второго подхода. Его использовал ЦЭНЭФ-XXI, когда в 2014 г. совместно с еще четырьмя аналитическими группами провел расчеты по 30 согласованным сценариям (Башмаков, ред. 2014). На основе использования второго подхода организована работа

1 МГЭИК, которая делает оценки на основе обобщения результатов более 3000 сценариев,
2 разработанных несколькими десятками исследовательских групп (IPCC, 2022).

3 В данной работе проведен анализ более тридцати сценариев декарбонизации для
4 России с горизонтом до 2050-2060 гг., разработанных после 2022 г. с использованием
5 двух десятков долгосрочных моделей, созданных как российскими, так и
6 зарубежными экспертами. Одни сценарии экстраполируют сложившиеся тенденции,
7 другие показывают последствия заданных сценарных условий, третьи оценивают
8 возможные пути достижения установленной цели (*back-casting*) – например, достижения
9 углеродной нейтральности, – а стресс-сценарии рассматривают влияние неблагоприятного
10 сочетания внешних условий. Поэтому при сравнении сценариев важно учитывать не только
11 полученную траекторию, но и задачу, для решения которой они строились (EIA, 2026;
12 NGFS, 2025). В анализ включены около двух десятков источников (табл. 4.2), содержащих
13 сценарии декарбонизации для России или оценивающих последствия реализации
14 отдельных мер политики. Для содержательного сравнения результатов необходимо
15 учитывать: границы моделируемых систем, включая охват секторов и источников
16 выбросов; макроэкономические сценарные условия; допущения об используемых мерах
17 политики декарбонизации и параметрах технологий, а также характеристики и свойства
18 самих моделей. Влияние различия в моделях наиболее ярко проявляется в исследованиях,
19 где согласованный набор сценарных условий является входом для нескольких моделей
20 (Башмаков, ред. 2014; IPCC, 2022). Причины расхождений сценариев можно обсуждать
21 увереннее, когда они рассчитаны на одной модели или по общим правилам. Если
22 одновременно различаются исходные данные, устройство модели и предпосылки,
23 результаты показывают диапазон оценок, но не позволяют отнести расхождение к одному
24 фактору. Такие случаи рассматриваются далее с явной оговоркой о пределах
25 интерпретации.

26 Только два из рассматриваемых модельных комплексов – Консорциум 5 (2024) и
27 ЦЭНЭФ-XXI (Башмаков 2023, 2024; Башмаков и др., 2022) – охватывают выбросы во
28 всех секторах (энергетика, промышленные процессы, сельское хозяйство, ЗИЗЛХ и
29 отходы) и имеют блоки для приведения оценок выбросов в этих секторах в
30 соответствие с агрегированными показателями НДК. В основном же модели оценивают
31 траектории выбросов для сектора «энергетика» и отражают оценки динамики параметров
32 развития электроэнергетики, топливных рынков, макроэкономических последствий и
33 переходных рисков. Кроме того есть модели для отдельных секторов – модель МАДИ для
34 автомобильного транспорта (Трофименко и др., 2023, 2026), модели ЦЭНЭФ-XXI для
35 электро- и теплоэнергетики, промышленности, транспорта, зданий и для сектора отходов
36 (Башмаков и др., 2022, 2023). Есть также отдельные модели для оценки эффектов СВМ
37 (Башмаков, 2022; Bashmakov et al., 2022; Макаров и Смоловик, 2025) или
38 распределительных эффектов от мер по декарбонизации (модель DEFEND, Башмаков 2023;
39 Bashmakov, 2024). В работе также использовались данные сценариев Энергетической
40 стратегии России до 2050 г. и других официальных стратегий, например, проекта
41 Транспортной стратегии Российской Федерации до 2036 года с прогнозом на период до
42 2050 г. (Транспортная стратегия, 2026). Обзорные (Башмаков, 2025) и методологические
43 работы используются для объяснения предпосылок и ограничений отдельных моделей.

44 В фокусе анализа – оценки траекторий декарбонизации и энергоперехода именно для
45 России. Доступные сценарные оценки как в целом, так и по секторам, сведены в базу
46 данных – ОДНиР (Оценочный Доклад Низкоуглеродная Россия). Ряд глобальных
47 моделей имеет более агрегированное географическое разрешение – «Евразия», СНГ и
48 другие региональные агрегаты. Такие оценки используются только как внешний контекст,
49 если показатель для России не выделен. В сравнение включены только значения, которые
50 можно воспроизвести на основе публикаций или извлечь из прилагаемых к ним баз данных.
51 Для каждого показателя учитываются его определение, единица измерения, базовый год и

1 географический охват, а также различие между модельным результатом, исходным
2 допущением и официальной целью. Это позволяет не смешивать показатели, которые
3 похожи по названиям, но имеют разный смысл. Кроме того, в базе данных ОДНиР всем
4 сценариям поставлены в соответствие характеристики темпов экономического роста –
5 низкие (рост ВВП в среднем менее чем на 1,5% в год), умеренные (рост ВВП в диапазоне
6 1,5-2,5% в год) и высокие (рост сверх 2,5% в год), – а также характеристика набора мер
7 политики декарбонизации (текущие, новые и решительные). Временной горизонт
8 сопоставления – 2025–2050 гг. и, при наличии данных, 2060 г.

9
10

Таблица 4.2 Корпус моделей и публикаций, используемых для оценки эффектов декарбонизации

Источник	Модель	Сценарии	Основная функция	Ограничение
Башмаков (2023); Bashmakov (2024)	DEFEND (distributional effect of national decarbonization)	В качестве сценариев используется архитектура разных мер политики декарбонизации	Оценивает влияние мер политики декарбонизации на доходы и расходы населения по децилям	Расчеты проводятся только для жилых зданий и пассажирского транспорта
ВЭБ.РФ (2023)	Методика раскрыта частично	Инерционный; Оптимистичный	Выбросы, инвестиции и лесной потенциал	Охват газов, ЗИЗЛХ и единицы раскрыты неполно
ВШЭ (Давыдова и др., 2025)	Модели общего равновесия GTAP-Power и GTAP-E	Шесть сценариев зависимости от введения цены на CO ₂ и пограничного углеродного регулирования в ЕС, Китае и России	Оценки влияния углеродного регулирования Китая на российскую экономику	Статическая модель, которая позволяет сравнивать результаты до и после введения заложенного в разные сценарии углеродного регулирования
ИНЭИ РАН (2024)	Модельно-информационный комплекс	Туман; Раскол; Ключ	Энергия, топливные рынки и внешние условия России	Нет полной траектории всех ПГ и макроэкономических эффектов
Консорциум 5 (2024)	Единая модельно-информационная система. В работе не описана	Целевой; Инерционный; эксперименты	Полный набор ПГ и секторов, энергия, промышленность, оценка эффектов СВАМ, занятость	Результат существенно зависит от задаваемых извне динамики ВВП и объемов нетто стоков в ЗИЗЛХ
МАДИ (2026)	Модель для автомобильного транспорта	Инерционный и Инновационный	Оценка потребления энергоносителей и выбросов ПГ автомобильным транспортом	Расчеты проводятся только для автомобильного транспорта
РСПП-ИНП РАН (2026)	Инструментарии ИНП РАН	Агрессивный, Оптимальный, Умеренный	Полный набор ПГ и секторов	Оценка траекторий достижения углеродной нейтральности к 2060 г.
РЭА (2024)	Собственный модельный комплекс	Всё как встарь; Рациональный технологический выбор; Чистый ноль	Подробные энергетические балансы России	Ограниченная макроэкономика и углеродные цены
ЦЭНЭФ-XXI (2022. 2023)	Система (облако) имитационных моделей, включая модели макроэкономики и отдельных секторов	4S, 4D, 4F	Полный набор секторов: ПГ, ЗИЗЛХ, энергия, ВВП, инвестиции, расходы потребителей на энергию	Выбросы от ЗИЗЛХ определяются по принципу Forest Last – как объем, необходимый для достижения углеродной нейтральности после оценки динамики выбросов в остальных секторах
ЦЭНЭФ-XXI (Bashmakov et al., 2022; Башмаков, 2022)	Модель СВАМ-RUS	10 сценариев реализации схемы СВАМ	Последствия для России от 10 сценариев реализации схемы СВАМ	Расчеты только по секторам, включенным в схему СВАМ
Drebentsov, Novikov, Turdyeva (2026)	Статическая CGE России	REA BAU / RTC / NZ: FM и MC	Перевод сценариев РЭА в CGE и макроэкономические последствия	Макроэкономические результаты зависят от способа переноса энергетических ограничений в CGE
Shirov et al. (2023)	CONTO	WAM; MAM	Предпосылки, сформированные при участии заинтересованных сторон, и макроструктурные последствия	Часть технологических параметров задается до расчета

Источник	Модель	Сценарии	Основная функция	Ограничение
Turdyeva (2024)	Статическая CGE России	BAU; CBAM; ETS; комбинации	Внешние ограничения, цены, ВВП и углеродная цена	Статическая структура; базовый год 2016
JRC GECO 2025 (2026)	POLES-JRC; JRC-GEM-E3	Reference; NDC-LTS; 1.5°C	Машиночитаемые ряды России: ПГ, энергия, генерация, топливо, цены, макроэкономика	ЗИЗЛХ не выделен отдельно; нет инвестиций и углеродной цены
MIT Global Change Outlook (2025)	EPPA; IGSM; MESM	Current Trends; Accelerated Actions	Абсолютные ряды региона RUS до 2050 г.; глобальный климатический ансамбль	Климатические файлы глобальны и не описывают физические риски России
EIA IEO 2023	World Energy Projection System (WEPS) https://www.eia.gov/outlooks/ieo/weps/documentation/	7 сценариев	Допущения описаны в https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/IEO2023_Narrative.pdf Результаты доступны	Расчеты в основном по параметрам энергобаланса. Выбросы только CO ₂ суммарно по сектору «энергетика». Россия выделяется
IEA WEO 2025	GEC Model	CPS; STEPS	Открытые ряды по России: энергия, генерация, спрос на топливо и CO ₂	NZE и российская добыча топлива отсутствуют в открытом наборе
PARIS REINFORCE D7.6 (2022)	Ансамбль IAM и национальных моделей	Current; NDC; 2°C; 1.75°C; 1.5°C	Методология широкого межмодельного сравнения	Используется преимущественно для методологии межмодельного сопоставления; российские ряды представлены подробнее в Post-Glasgow
NGFS Phase V (2025)	GCAM; MESSAGEix; REMIND; NiGEM	Восемь долгосрочных сценариев	Машиночитаемые ряды по России по переходным и физическим рискам	Сопоставимость зависит от метода географической детализации и границ модельного региона
World Bank / HSE (2021)	Глобальная CGE; CBAM-модель	Reference; unilateral; global action	Торговля, выпуск, благосостояние и внешние риски	Базовый год ENVISAGE/CBAM – 2014; внешнеэкономическая среда предшествует последующим геоэкономическим сдвигам
IMF (2023)	Концептуальный анализ	Фрагментация / поликризис	Дизайн сценариев при геоэкономической фрагментации	Нет самостоятельного количественного сценария России
IAM-COMPACT Study 6 (2025)	GCAM 7.0	Base WACC; Survey; Fossil; NonFossil; Fragmented	Сопоставимый эксперимент о влиянии стоимости капитала	ВВП и население являются предпосылками; одна модель
NDC-ASPECTS (2024)	EDS; GCAM-PR 7.0	BAU; NDC/LTT; AFOLU sensitivities	Российская энергетическая траектория; анализ чувствительности к ограничениям на использование земель, лесов и биоэнергии	AFOLU не трактуется как самостоятельная российская траектория
PARIS REINFORCE Post-Glasgow (2023)	GCAM-PR 5.3; GEMINI-E3 7.0; MUSE	Baseline; CP_EI; NDC_EI; NDC LTT	Согласованное межмодельное сравнение российских рядов	Включены только три модели и четыре согласованных сценария

Источник: составлено авторами по рассмотренным публикациям и сопровождающим их наборам данных. Названия сценариев приведены в формулировках первоисточников. Порядок строк не отражает оценки качества или предпочтительности источников.

1 **Анализ результатов охватывает не только выбросы ПГ в разных секторах, но и**
2 **определяющие их факторы:** объемы и структуру потребления первичной и конечной энергии,
3 энергоемкость, развитие электро- и теплоэнергетики, добычу и использование ископаемого
4 топлива, инвестиции и цены на энергию и углерод, а также макроэкономические показатели и
5 социально-экономические эффекты. Показатели сопоставляются только при явно
6 определенных единицах, базовом годе и географическом охвате. В ряде случаев при
7 включении в базу данных ОДНиР показатели переводились в сопоставимые единицы.

8 **Российские исследования по декарбонизации и энергопереходу решают широкий спектр**
9 **задач.** ЦЭНЭФ-XXI (2022), РЭА (2024), ИНЭИ РАН (2024) и Консорциум 5 (2024) оценивают
10 изменения в энергобалансах и топливных рынках с разными уровнями детализации. ЦЭНЭФ-
11 XXI (2022) и Консорциум 5 (2024) интегрируют оценки развития энергетики,
12 промышленности, выбросов, и стоков, а также макроэкономическую структуру; CONTO
13 оценивает макроструктурные последствия предпосылок, сформированных при участии
14 заинтересованных сторон; дорожная карта ЦЭНЭФ-XXI (2023a) детализирует
15 последовательность секторных преобразований, а ЦЭНЭФ-XXI (2023b) фокусируется на
16 анализе разрыва в амбициях и масштабах применения низкоуглеродных технологий. ВЭБ.РФ
17 (2023) и работа Банка России (Turdyeva, 2024) дополняют этот набор оценками инвестиций,
18 внешнеторговых ограничений и макроэкономических каналов. Анализ оценок перспектив
19 достижения Россией углеродной нейтральности, сделанных российскими экспертами
20 приведен в работе Башмакова (2025). Здесь он развивается с привлечением оценок зарубежных
21 экспертов.

22 Международные исследования используются как для российских перспектив декарбонизации
23 (EIA, IEA, NDC-ASPECTS, GECO), так и для характеристики внешнеэкономической среды.
24 JRC, MIT, IEA и NGFS позволяют сопоставлять российскую траекторию с глобальными
25 изменениями спроса, технологий и климатической политики. PARIS REINFORCE и NDC-
26 ASPECTS особенно важны тем, что рассчитывают согласованные сценарии несколькими
27 моделями или отделяют страновой энергетический сценарий от чувствительности к отдельным
28 предпосылкам; IMF – как основа для интерпретации геоэкономической фрагментации.

29 **При сопоставлении сценарных оценок важно различать, какие связи модель**
30 **рассчитывает эндогенно, а какие задает как предпосылки, а также используемый**
31 **математический аппарат – оптимизационные, имитационные модели, модели**
32 **межотраслевого баланса, уровень агрегирования (top-down) и (bottom-up) и другие**
33 **особенности.** В этом плане анализ опирается на раскрытую авторами логику модели и границы
34 применимости результатов. Ансамбль рассматриваемых моделей объединяет несколько
35 классов. POLES-JRC и IEA GEC подробно описывают энергетическую систему и рынки. EPPA,
36 JRC-GEM-E3, глобальная модель Всемирного банка и модель Банка России относятся к
37 моделям вычислимого общего равновесия (CGE), хотя существенно различаются по динамике
38 и географическому охвату. CONTO и система ИНП РАН имеют макроструктурную и
39 межотраслевую основу. Консорциум 5, ИНЭИ РАН, РЭА, ЦЭНЭФ-XXI, IEA и EIA используют
40 собственные модельно-информационные энергетические комплексы. Модельные комплексы
41 Консорциума 5 и ЦЭНЭФ-XXI имеют наиболее широкий охват секторов. NGFS и PARIS
42 REINFORCE опираются на ансамбли моделей.

43 **Разные классы моделей делают акцент на разных механизмах, поэтому результаты**
44 **каждого класса моделей следует интерпретировать в пределах задач, для решения**
45 **которых этот класс предназначен.** Энергетические модели позволяют оценивать
46 физическую согласованность энергобалансов, ввод мощностей, межтопливную конкуренцию
47 и энергетическую инфраструктуру. Межотраслевые макроструктурные системы отражают

1 производственные связи и структуру выпуска (в стоимостном выражении) и инвестиций.
2 Модели общего равновесия связывают отраслевую структуру с относительными ценами,
3 внешней торговлей, распределением факторов и благосостоянием. Имитационные секторные
4 (инженерно-экономические) модели (*bottom-up*) детально описывают характеристики
5 технологий, включая их стоимостные характеристики, и цепочки создания стоимости.
6 Дорожные карты описывают последовательность мер, институциональные и прочие условия
7 их реализации.

8 **Способ задания климатической цели определяет, какие переменные и параметры**
9 **выступают предпосылками** (задаются экзогенно), **а какие становятся результатами**
10 **расчетов на модели** (эндогенные переменные). Если цель задается как ограничение на
11 выбросы ПГ, модель может рассчитывать цены на углерод и затраты, необходимые для
12 выполнения этого ограничения. В других постановках цена углерода задается заранее, а
13 модель определяет соответствующий уровень выбросов. В третьих моделях имитируются
14 эффекты от существенно более широкого набора инструментов декарбонизации, включая не
15 только ценовые, но и административные механизмы и механизмы решения стратегических
16 задач, включая субсидии, стандарты и запреты на продукцию. В дорожных картах доли
17 отдельных технологий могут выступать нормативными индикаторами. В CONTO часть
18 технологических параметров задается в сценарии, сформированном при участии
19 заинтересованных сторон, после чего модель рассчитывает макроструктурные последствия. В
20 модели Банка России совокупное ограничение выбросов ПГ определяет цену квоты, а мировые
21 цены и количественные ограничения экспорта задаются по сценариям. Аналогичное различие
22 относится к мировым рынкам. Модель малой открытой экономики принимает мировые цены
23 как заданные, поэтому не может оценить обратное влияние российской добычи на глобальный
24 рынок. Глобальная модель общего равновесия формирует цены и торговые потоки совместно,
25 но обычно имеет более агрегированное представление России и отдельных отраслей.
26 Энергетические модели могут подробно рассчитывать ресурсы и транспортные маршруты, но
27 не всегда эндогенизируют благосостояние и бюджетные последствия.

28 **Представление об источниках и условиях финансирования напрямую влияет на оценку**
29 **темпов и стоимости энергоперехода.** CONTO предполагает, что специализированные
30 инвестиции в декарбонизацию вытесняют иные инвестиции; авторы прямо отмечают, что
31 отсутствие долгового финансирования усиливает отрицательный макроэкономический эффект
32 МАМ. В других работах источник финансирования раскрыт менее подробно. Поэтому при
33 сопоставлении необходимо фиксировать, являются ли инвестиции дополнительными к
34 базовой траектории, каким образом они финансируются и какие компоненты затрат включены
35 в расчет. Статические CGE-модели оценивают новое равновесие при заданной структуре
36 капитала и ограниченных механизмах накопления. Динамические энергетические модели
37 лучше отражают выбытие и ввод мощностей, но могут не показывать, кто именно финансирует
38 переход и как это влияет на потребление. При сопоставлении инвестиционных оценок
39 необходимо фиксировать: являются ли они дополнительными к базовой траектории; включают
40 ли сети, резервирование, энергоэффективность и замену оборудования; выражены ли в
41 процентах годового или накопленного ВВП. Важный аспект – учет замещения инвестиций в
42 топливную энергетику (с очень низкими или отрицательными параметрами капиталоотдачи –
43 см. главу 3) в базовых сценариях инвестициями в низкоуглеродную энергетику (с существенно
44 более высокими параметрами капиталоотдачи) в альтернативных сценариях (ЦЭНЭФ-XXI).
45 От учета этого аспекта зависит оценка влияния процессов декарбонизации на экономический
46 рост.

47 **Полнота публикации результатов является самостоятельным ограничением**
48 **сопоставления.** Стандартизированные многомодельные базы NGFS и PARIS REINFORCE

1 позволяют проследить определения показателей и сценариев, тогда как в ряде российских
2 работ основным открытым источником остаются таблицы и приложения к отчетам.
3 Воспроизводимость межсценарного сравнения поэтому зависит не только от класса модели, но
4 и от того, насколько полно опубликованы сценарные ряды, определения и исходные
5 допущения. В ряде случаев ниже использовалась дополнительная информация, полученная по
6 запросам от авторов сценарных расчетов (РЭА, ЦЭНЭФ-XXI).

7 **Полностью сопоставимыми считаются показатели с совпадающим охватом ПГ,**
8 **территориальными и секторными границами, учетом ЗИЗЛХ, базовым годом и единицей**
9 **измерения.** Сопоставимость модельных рядов с национальным кадастром оценивается по
10 охвату ПГ, разграничению валовых и чистых выбросов, включению ЗИЗЛХ, секторным и
11 территориальным границам, базовому году и единицам измерения. Наиболее частые
12 технические несоответствия – смещение CO₂ и всех ПГ, валовых и чистых выбросов,
13 энергетических выбросов и выбросов от использования топлива, а также разных базовых лет.
14 МПТ включает в показатель CO₂ ископаемое топливо, промышленные процессы и изменение
15 землепользования, поэтому он шире чистого энергетического CO₂.

16 **Единицы измерения сопоставляемых показателей приводятся к единому виду только**
17 **при возможности однозначного преобразования.** Например, первичная энергия в РЭА и
18 ИНЭИ РАН приводится в т.н.э., а Консорциума 5 и ЦЭНЭФ-XXI — в т.т. Прямое
19 сопоставление требует физической конвертации. Инвестиционные и ценовые показатели
20 сопоставляются после проверки базового года, валюты, горизонта накопления и знаменателя.
21 Исходное значение и его определение сохраняются наряду с нормализованным показателем. В
22 остальных случаях показатели приводятся к общей базе с явным описанием преобразования
23 либо используются для качественной интерпретации. Это предотвращает формирование
24 искусственного диапазона из показателей, имеющих разный экономический смысл.

25 **Различие базовых лет учитывается как при интерпретации уровней, так и**
26 **относительных отклонений.** Этот аспект сопоставления очень важен, поскольку данные
27 национального кадастра систематически пересматриваются (см. главу 2), что влечет за собой
28 пересмотры уровней выбросов базового года. Статическая CGE-модель Банка России
29 откалибрована на структуре 2016 г.; модель ENVISAGE в расчетах World Bank/HSE использует
30 2014 г. как базовый год. Российские энергетические прогнозы 2022-2026 гг. отражают более
31 позднюю российскую и внешнеэкономическую среду и оценки кадастра. Для них базовыми
32 являются 2019-2024 гг. Поэтому прямое сопоставление выбросов ПГ требует оговорок, а
33 сопоставление уровней ВВП или экспорта в ряде случаев заменяется сравнением изменений
34 внутри каждого сценарного семейства и анализом механизмов, стоящих за этими
35 изменениями.

36 **4.4 Качественные и количественные допущения сценариев**

37 Для интерпретации результатов принципиально различать параметры, задаваемые до
38 расчета, и переменные, которые формируются моделью эндогенно. Данный раздел
39 показывает, при каких предпосылках формируются разные траектории и какие выводы
40 непосредственно поддерживаются расчетами. Оценка вероятности, оптимальности и
41 практической реализуемости отдельных сценариев возможна (Башмаков и др., 2014), но
42 выходит за рамки сравнительного анализа в данной работе. Сценарные допущения определяют
43 масштабы экономической активности, спроса, доступный технологический набор и
44 ограничения внешней среды.

Макроэкономические параметры в одних моделях являются сценарным допущением расчетов, в других – оцененным на модели результатом взаимодействия инвестиций, цен, технологических, структурных и поведенческих изменений. Этот аспект существенно влияет на результаты сценариев. Например, Консорциум 5 (2024) и РЭА (2024) задают темпы роста ВВП экзогенно, тогда как ЦЭНЭФ-XXI их моделирует с использованием модели RUS-DVA (Башмаков, 2011; Башмаков и др., 2022), в которой интенсивность модернизации и внешнеэкономические условия влияют на темпы роста нефтегазового и ненефтегазового ВВП, и приходит к выводу, что декарбонизация российской экономики при заданных внешних параметрах ускоряет экономический рост (см. главу 3). Работа Банка России дает декомпозицию переходного риска относительно ВАУ. В умеренном сценарии почти все снижение ВВП связано с внешней климатической политикой и количественными ограничениями, тогда как внутреннее ограничение выбросов добавляет около 0,3 п.п. В экстремальном сценарии внутренний вклад возрастает до 4,3 п.п. Опубликованное сопоставление показывает, что оценка макроэкономического эффекта существенно зависит от доступа к технологиям и жесткости внешних торговых условий (Turdyeva, 2024). В CONTO (Shirov et al., 2023) более амбициозный сценарий сохраняет положительный экономический рост, но снижает темпы потребления и инвестиций; динамика экспорта при этом меняется гораздо меньше. Макроэкономическая цена перехода в данной модели формируется через сокращение экспорта углеводородов, внутреннее перераспределение ресурсов, инвестиционное вытеснение и рост относительных цен. Консорциум 5 публикует траектории ВВП, потребления, инвестиций и занятости для Целевого и Инерционного сценариев. Однако их различия нельзя полностью трактовать как чистый эффект декарбонизации: опубликованные таблицы не дают полного набора контрфактических расчетов при единой макроэкономической базе. Снижение занятости, например, в значительной степени связано с демографической траекторией.

На Россию внешняя климатическая политика воздействует через несколько каналов: снижение мирового спроса на ископаемое топливо; изменение экспортных цен; ограничения доступа на рынки; углеродные платежи; изменение стоимости импортных технологий и капитала. IMF указывает, что геоэкономическая фрагментация может одновременно замедлять снижение стоимости низкоуглеродных технологий, усиливать зависимость от инфраструктуры на ископаемом топливе и повышать частоту макроэкономических шоков. Следовательно, сценарий фрагментации нельзя сводить к простому добавлению торговых ограничений к сценарию планомерного перехода (IMF, 2023). JRC моделирует глобализацию и фрагментацию международной торговли в связке энергетической и макроэкономической моделей. NGFS выделяет *Fragmented World* как самостоятельную траекторию с неоднородной политикой и более высокими рисками. ИНЭИ РАН (2024) включает торговые ограничения в оси сценариев «Туман», «Раскол» и «Ключ». В работах Банка России и ЦЭНЭФ-XXI задаются изменения мировых цен на энергоресурсы и количественные ограничения их экспорта, что позволяет определить их вклад в ВВП. Эти подходы отражают разные аспекты одного процесса, и их результаты следует использовать совместно, а не выбирать один показатель фрагментации.

Конкурентоспособность низкоуглеродных технологий определяет скорость их проникновения на рынок, а сама она определяется принятыми допущениями об их стоимостных характеристиках. Технологические различия особенно заметны в электроэнергетике. Сценарии ИМП РАН WAM и MAM в CONTO (Shirov et al., 2023) различаются скоростью наращивания генерации на ВИЭ и АЭС. Одинаковая доля технологии в конечном году при разном масштабе генерации может соответствовать разным инвестиционным траекториям и требованиям к инфраструктуре. Различие определяется не

1 только удельной стоимостью установок, но и ограничениями на скорость строительства,
2 резервированием, сетевой инфраструктурой и накопителями. **ИНЭИ РАН (2024)** отдельно
3 подчеркивает, что стоимость отдельной солнечной или ветровой установки не тождественна
4 системной стоимости электроэнергии при высокой доле переменной генерации. Возможным,
5 но далеко не единственным и даже не самым главным инструментом стимулирования развития
6 нетопливной генерации является введение цены на углерод, добавление которой в формулу
7 приведенных затрат на генерацию электроэнергии (LCOE) делает технологии на ископаемом
8 топливе менее конкурентоспособными. Цена углерода, при которой LCOE источников на
9 ископаемом топливе и на ВИЭ выходят на паритет, и называется *ценой переключения*.
10 Допущения о CAPEXах, OPEXах, параметрах обучения (снижения CAPEXов при каждом
11 удвоении объемов генерации), нормах дисконтирования, способах отражения в моделях
12 конкуренции между энергоносителями, учете дополнительных затрат на инфраструктуру
13 существенно сказываются на сценарных оценках эволюции технологической структуры
14 отдельных секторов. Оценки масштабов применения таких технологий, как использование
15 водорода и CCUS, требуют задания широкого диапазона предпосылок. Например, РЭА в
16 сценарии «Чистый ноль» и ЦЭНЭФ-XXI в сценарии «4F» отводят водороду значительную
17 роль; в CONTO CCS появляется только в более амбициозной траектории. Разброс отражает
18 различия в предполагаемой стоимости, доступе к оборудованию, транспортной
19 инфраструктуре и наличии платежеспособного спроса.

20 **Энергоэффективность является общим элементом большинства сценариев глубокого**
21 **сокращения выбросов, однако как модельный подход к оценке ее вклада, так и**
22 **оцениваемые масштабы вклада заметно различаются.** В отдельных моделях параметры
23 энергоэффективности задаются экзогенно. В сценариях ИНП РАН агрегированная
24 энергоемкость в *Целевом* и *Инерционном* сценариях в 2050 г. близка, причем инерционный (!)
25 показатель несколько ниже. ИНП РАН определяет снижение энергоемкости как функцию
26 накопленных инвестиций и загрузки производственных мощностей. В этой логике получается,
27 что неважно, с какими параметрами энергоэффективности новые технологии приобретались.
28 Рост энергоемкости многих видов продукции и услуг (добыча и переработка нефти, газа, угля,
29 производство электроэнергии, кокса, чугуна, стали, бумаги и картона, кирпича, транспортной
30 работы железнодорожного и водного транспорта, использования энергии на 1 м² в сфере
31 образования и др.) на протяжении последних 10 лет (2015-2024 гг.) при росте накопленных
32 инвестиций показывает неадекватность такого подхода. ЦЭНЭФ-XXI использует существенно
33 более развитый подход к оценке параметров энергоэффективности. Факторами являются
34 параметры удельных расходов энергии для наилучших технологий по каждому направлению
35 использования энергии, темпы вывода из эксплуатации старых и модернизации
36 существующих мощностей (и целевые параметры энергоэффективности после модернизации),
37 цены на энергоносители, уровни загрузки производственных мощностей, параметры климата
38 и др.

39 **Допущения относительно потенциала сектора ЗИЗЛХ в части изменения стоков**
40 **являются ключевыми при определении интенсивности мер по декарбонизации прочих**
41 **секторов и являются самым большим источником расхождений прогнозных оценок.**
42 Глубокое сокращение чистых выбросов в *Целевом* сценарии Консорциума 5 определяется
43 прежде всего допущениями о том, что стоки в ЗИЗЛХ можно нарастить примерно на 1 ГтСО₂.
44 Напротив, в сценариях ЦЭНЭФ-XXI принимается допущение о сохранении тренда 2010-2024
45 гг. к снижению стоков, и для ЗИЗЛХ ставится задача его затормозить.

46 **Один и тот же официальный ориентир может быть представлен как ограничение на**
47 **совокупные выбросы, экзогенная траектория, заданная цена углерода, технологический**
48 **норматив, предпосылка по ЗИЗЛХ или конечное условие достижения нейтральности.** Эти

способы не эквивалентны. В JRC целевые сокращения с учетом ЗИЗЛХ на 2030, 2050 и 2060 годы выступают предпосылками сценария NDC-LTS. В целевом сценарии ИНП РАН траектория официальной стратегии задает конечный результат, включая существенное расширение поглощения ЗИЗЛХ. В модели Банка России ограничение на выбросы формирует рассчитываемую моделью цену квоты, тогда как внешние цены и количественные ограничения экспорта задаются отдельно. В CONTO значительная часть технологических долей и промежуточных индикаторов задается до расчета. Воспроизведение целевого уровня внутри сценария поэтому не следует интерпретировать как независимое подтверждение достижимости официальной цели.

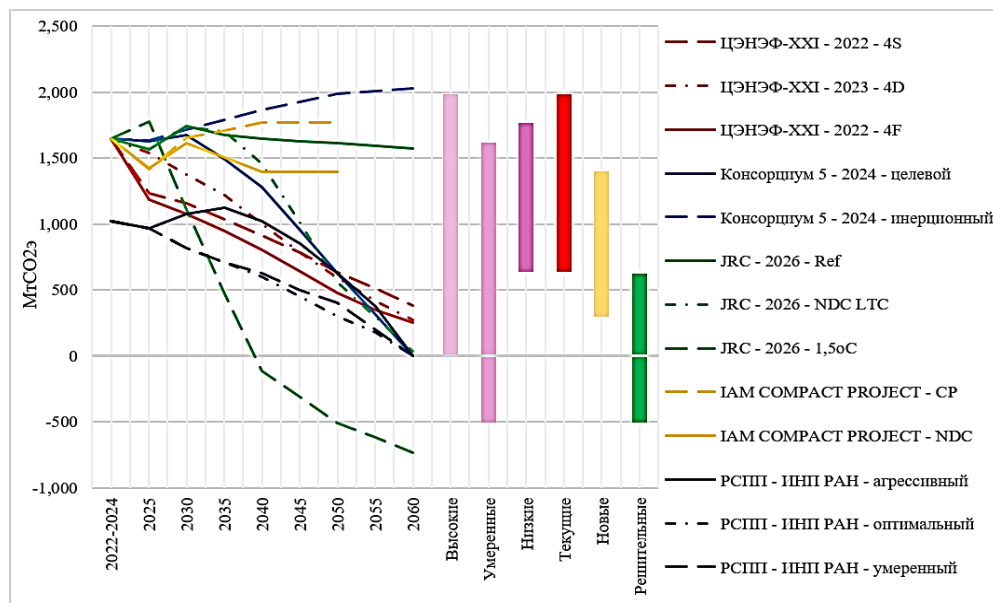
4.5 Нет одной дороги в будущее: сравнительный анализ сценариев

4.5.1 Нетто-выбросы парниковых газов

Только в сценариях с очень высокими темпами роста ВВП при отсутствии дополнительных мер политики нетто-выбросы ПГ к 2060 г. могут вырасти или оставаться на полке. Широкие диапазоны для каждой группы сценариев на рис. 4.2 и в табл. 4.3 отражают не только неопределенность прогнозных оценок, но и существенные пересмотры значений нетто-выбросов за базовые годы. В базовых сценариях JRC и IAM нетто-выбросы остаются на плато, а в *Инерционном* сценарии Консорциума 5 траектория стремится вверх и удаляется от траектории нейтральности. Близость итоговых показателей чистых выбросов не означает сходства инвестиционных программ, технологической структуры или рисков реализации.

Имеющиеся сценарные прогнозы показывают, что траектории достижения углеродной нейтральности (в сценариях ЦЭНЭФ-XXI (2022, 2023) и РЭА (2024)) или нейтральности по всем ПГ к 2060 г. существуют (в сценариях Консорциума 5 (2024), ИНП РАН (2023), РСПП и ИНП РАН (2026) и JRC (2026)). Однако систематический и существенный пересмотр инвентаризации оказывает заметное влияние на геометрию этих траекторий (рис. 4.2). Наиболее сопоставимыми являются траектории Консорциума 5, ИНП РАН и ЦЭНЭФ-XXI, поскольку эти публикации приводят чистые выбросы всех ПГ от всех источников в абсолютных единицах при близких значениях базового года. Траектории *Целевых* сценариев Консорциума 5 и ИНП РАН построены для выхода к 2060 г. на «чистый ноль» по всем ПГ, а ЦЭНЭФ-XXI – только по CO₂, как рекомендует МГЭИК. Сравнение только конечных значений скрывает различия в скорости и последовательности преобразований. Траектории *Целевого* сценария Консорциума 5 в основном повторяют более ранние оценки ИНП РАН: нетто-выбросы ПГ во всех секторах не снижаются до 2030 г., а основное снижение переносится на период после 2030 г. В работе РСПП и ИНП РАН в «агрессивном» сценарии нетто-выбросы растут до 2035 г. Из описания неясно, почему. Временные профили в сценариях ЦЭНЭФ-XXI и в двух сценариях РСПП и ИНП РАН заметно отличаются. У ЦЭНЭФ-XXI сокращение нетто-выбросов начинается раньше и проходит более равномерно. В работе РСПП и ИНП РАН базовый уровень нетто-выбросов ПГ существенно понижен по итогам пересмотра инвентаризации. Более того, по итогам проекта по дальнейшему уточнению поглощений ПГ экосистемами России авторы ожидают прирост поглощения на 290 Мт CO_{2э} к 2030 г. и еще на 150 Мт CO_{2э} к 2035 г. Непонятно, отражены ли эти ожидания в опубликованных траекториях выбросов.

Рисунок 4.2 Динамика нетто-выбросов ПГ в различных сценариях*



*диапазоны оценок показаны для 2050 г.

Источники: см источники к табл. 4.2.

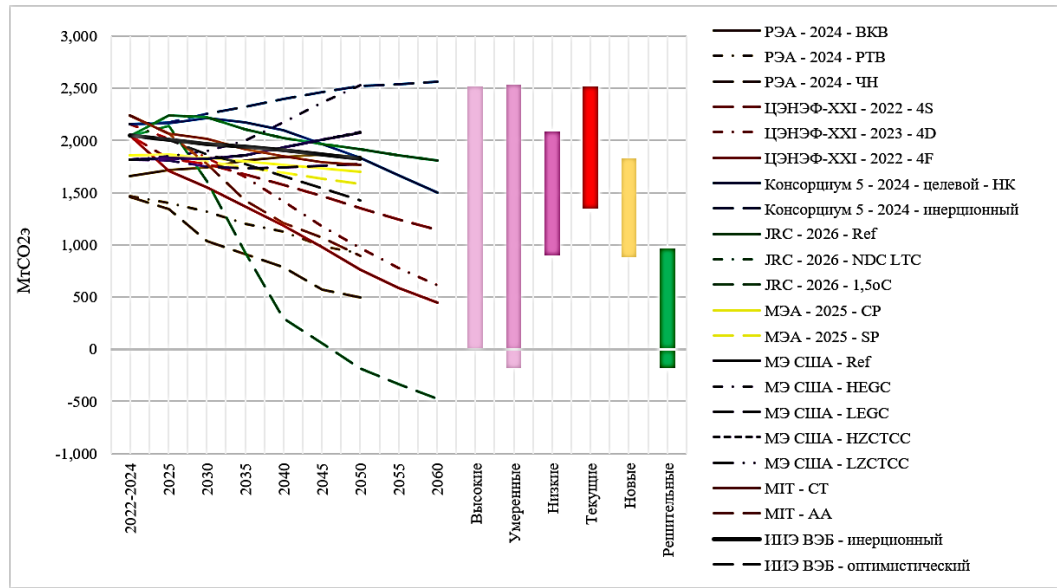
Все сценарные прогнозы динамики выбросов ПГ можно разделить на два семейства: *Forest Last* и *Forest First*. Авторы первой группы (зеленая зона на рис. 4.2) верят в возможность декарбонизации многих секторов экономики России, а авторы второй (красная и желтая зоны на рис. 4.2) полагают, что задача решается преимущественно за счет масштабного наращивания стоков в ЗИЗЛХ при умеренных усилиях по декарбонизации остальных секторов. Все актуальные прогнозы согласны с полученным еще в 2014 г. выводом (Башмаков и др., 2014), что существует потолок роста выбросов ПГ до 2060 г. Только три прогноза (*Инерционный* сценарий Консорциума 5 и два сценария МЭ США, в которых заложены высокие темпы экономического роста и (или) не принимаются дополнительные меры политики по контролю за выбросами ПГ, предполагают возможность роста выбросов к 2050-2060 гг. от уровня базового года. Все сценарии с новыми мерами политики независимо от их макроэкономических допущений позволяют удерживать выбросы в 2050-2060 гг. ниже значений базового года. В сценариях, попавших в красную и желтую зоны, задача декарбонизации в основном решается за счет стратегии *2F – Forest First*, в которой основная нагрузка по выходу на углеродную нейтральность переносится на сектор ЗИЗЛХ. В *Целевом* сценарии Консорциума 5 вклад ЗИЗЛХ в снижение нетто-выбросов до 2040 г. равен 67%, до 2050 г. – 62%, до 2060 г. – 60%. В работах ЦЭНЭФ-XXI, РЭА и МТИ решалась задача поиска для России траектории, по которой она может достичь углеродной нейтральности к 2060 г., не полагаясь на кратное наращивание нетто-стоков в ЗИЗЛХ, и было показано, что такие траектории существуют. Ниже показано, как эти стратегии отражаются на динамике выбросов ПГ в отдельных секторах.

1 **Таблица 4.3 Избранные опубликованные показатели выбросов**

Источник	Сценарий	Показатель	Началь- ный/ базовый год	Среднесроч- ный период		2050	2060	Интерпретация
				2030	2035			
ИНП РАН	Целевой	Чистые выбросы всех ПГ, млн т CO ₂ -экв.	2021	1673,2	—	629,9	–0,1	Снижение после 2030 г.; растёт поглощение ЗИЗЛХ
ИНП РАН	Инерционный	Чистые выбросы всех ПГ, млн т CO ₂ -экв.	2021	1717,8	—	1986,3	2026,0	Рост валовых выбросов
ЦЭНЭФ-XXI	4D / Forest Last	Чистые выбросы всех ПГ, млн т CO ₂ -экв.	2021	1375	—	592	275	Раннее снижение; нейтральность в 2060 г. только по CO ₂
Shirov et al.	WAM	Изменение чистых выбросов к текущему уровню, %	2021 / текущий уровень	—	—	+5%	—	Абсолютные нетто-выбросы растут
Shirov et al.	MAM	Изменение чистых выбросов к текущему уровню, %	2021 / текущий уровень	—	—	–92%	—	Нейтральность около 2053 г.
Shirov et al.	MAM к WAM	Вклад в разницу чистых выбросов в 2050 г., %	2050	—	—	ЗИЗЛХ 31; электро- и теплоснабжение 23; добыча и переработка 12; здания 11; дорожный транспорт 10; CCS 4	—	Сокращение распределено между несколькими секторами и механизмами
MIT	Current Trends	Изменение выбросов ПГ к 2025 г., %	2025	—	–7%	–15%	—	Модельный регион RUS
MIT	Accelerated Actions	Изменение выбросов ПГ к 2025 г., %	2025	—	–31%	–59%	—	Траектория 1,5°C
ВЭБ.РФ	Инерционный / оптимистичный	Выбросы, млн т CO ₂	2022	—	—	1825 / 1428	—	Охват требует уточнения
JRC	NDC-LTS	Официальная цель с ЗИЗЛХ к 1990 г., %	1990	–30%	—	–80%	–100%	Предпосылка, не результат

2 Источник: ИНП РАН (2024), приложения 4–5; ЦЭНЭФ-XXI (2023), табл. 1.1; Shirov et al. (2023), табл. 3 и текст
3 результатов; MIT CS3 (2025), табл. 3; ВЭБ.РФ (2023); JRC (2026), приложение 4. Значения имеют различную базу
4 сравнения и не образуют единого статистического диапазона.

Рисунок 4.3 Динамика выбросов ПГ (без учета ЗИЗЛХ) в различных сценариях*



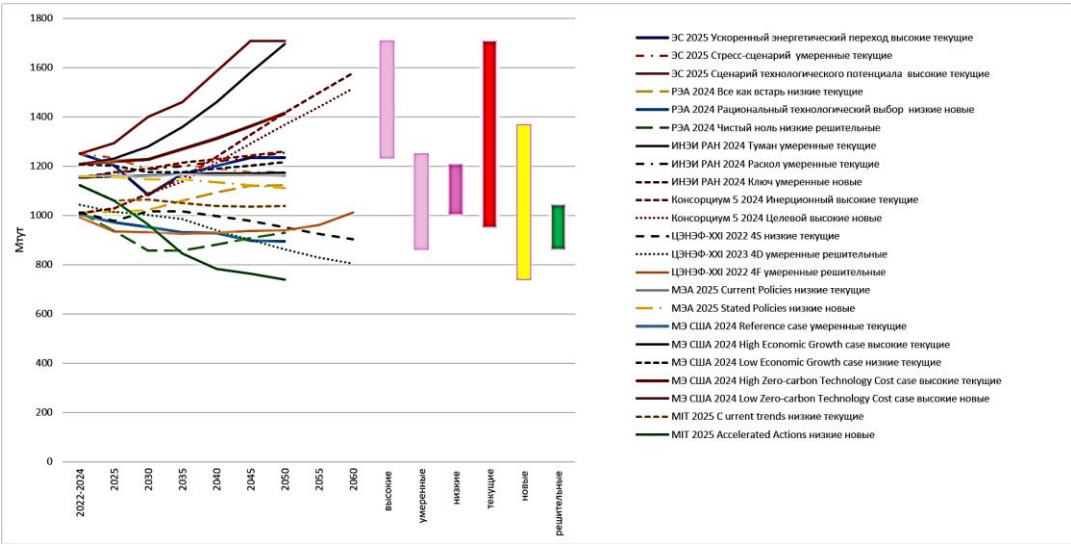
*диапазоны оценок показаны для 2050 г. РЭА, МЭА и МЭ США – только CO₂ от сектора «энергетика».

Источники: см источники к табл. 4.2.

4.5.2 Потребление энергии и топлива

Потребление первичной энергии заметно растет только в сценариях с допущениями об очень высоких темпах роста ВВП и об отсутствии дополнительных мер политики по контролю за выбросами (см. рис. 4.4 и табл. 4.4). Различия потребления первичной энергии за базовые годы определяются разными методами учета первичной электроэнергии в энергобалансах. Существуют три основных метода оценки параметров производства и потребления первичной электрической и тепловой энергии: метод частичного замещения топлива, метод прямого физического эквивалента и метод физического содержания энергии, или запаса физической энергии. В Энергетической стратегии используется метод частичного замещения топлива, а МЭА и ЦЭНЭФ-XXI используют метод физического содержания энергии.

Рисунок 4.4 Динамика выбросов (без ЗИЗЛХ) в различных сценариях



*диапазоны оценок показаны для 2050 г.

Источники: см. источники к табл. 4.2.

Разброс оценок потребления первичной энергии на 2050 г. в *Энергетической Стратегии* довольно широк: от до 1175 Мтут в *Стресс-сценарии* до 1708 Мтут в *Сценарии технологического потенциала*. В сценариях Консорциума 5 и ИНЭИ РАН потребление первичной энергии растет и различается в 2060 г. только на 4%, то есть неопределенность изменения этого показателя практически игнорируется. Для этой системы решающими оказываются изменение топливно-технологической структуры и ЗИЗЛХ, а не только сокращение общего объема потребления энергии. В работе РЭА переходные траектории предполагают к 2050 г. примерно на 18–19% меньше потребление первичной энергии, чем в сценарии «*Всё как встарь*». Кроме того, между собой они заметно различаются топливной структурой. Глубокая декарбонизация в РЭА сочетается с изменением структуры энергобаланса и снижением общего спроса на энергию. В сценарии ЦЭНЭФ-XXI 4F потребление первичной энергии после некоторого сокращения начинает расти за счет активного развития водородной энергетики. В остальных сценариях оно медленно снижается. В сценариях МЭА потребление первичной энергии остается на полке до 2050 г., а во всех сценариях МЭ США оно растет. У MIT потребление первичной энергии снижается особенно динамично в сценарии *Accelerated Actions*.

Таблица 4.4 Избранные показатели трансформации энергетики

Источник	Сценарий	Показатель	Значение	Комментарий
РЭА	Всё как встарь	Первичная энергия, 2050	774,5 млн т н.э.	Инерционная структура
РЭА	Рациональный технологический выбор	Первичная энергия, 2050	625,0 млн т н.э.	На 19,3% ниже «Всё как встарь»
РЭА	Чистый ноль	Первичная энергия, 2050	632,2 млн т н.э.	На 18,4% ниже «Всё как встарь»
ИНЭИ РАН	Туман / Раскол / Ключ	Первичная энергия, 2050	820 / 877 / 880 млн т н.э.	Различия роста, НТП и торговли
ИНЭИ РАН	Диапазон	Газ в первичной энергии / генерации, 2050	54–56% / 45–48%	Газ сохраняет значимую роль в энергосистеме

ИНЭИ РАН	Диапазон	Безуглеродные источники в первичной энергии, 2050	11–14%	Не равно доле в генерации
CONTO	WAM	Атом / ВИЭ в генерации, 2050	24% / 20%	Электропотребление +32%
CONTO	MAM	Атом / ВИЭ в генерации, 2050	28% / 45%	Электропотребление +84%
ЦЭНЭФ- XXI	4D	Атом / ветер / солнце / ГЭС, 2050	33% / 10,6% / 6,7% / 16%	Смешанная безуглеродная структура
IEA	STEPS	Газ: добыча / экспорт, 2035	670 / 150 млрд м ³	Доля в мировой торговле 10%

Источники: РЭА (2024), приложение по России; ИНЭИ РАН (2024), раздел 3 и таблицы 2.3–2.7; Shirov et al. (2023); ЦЭНЭФ-XXI (2023), табл. 4.1; IEA (2025). Единицы РЭА переведены из тыс. т н.э. в млн т н.э.

Стратегическое видение правительства и отдельных аналитических структур, готовящих для него обоснования, можно выразить формулой: $3F$ – «*Fossil Fuels Forever*». В Целевом сценарии Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года объемы потребления ископаемого топлива заметно выше, чем в Инерционном. Это косвенно отражает цель Стратегии: сохранить или нарастить объемы использования, производства и экспорта ископаемого топлива. В Целевом сценарии в 2050 г. потребление, производство и экспорт нефти, природного газа и угля превышают значения 2023 г. Доля ископаемого топлива в потреблении первичной энергии снижается незначительно: с 88% в 2023 г. до 85% в 2050 г. В Сценарии технологического потенциала эта доля в 2050 г. равна 82%, а в Стрессовом сценарии – 84%. По мнению разработчиков Стратегии, Россия до 2050 г. не сможет выбраться из ловушки чрезмерной зависимости от ископаемого топлива: ни в одном из сценариев его доля не падает ниже 82%. Эту позицию полностью разделяет ИНЭИ РАН (2024), который считает, что в России к середине века мало что изменится, и дает узкий диапазон доли ископаемого топлива в потреблении первичной энергии на 2050 г. (85-88%) при росте объемов потребления ископаемого топлива во всех сценариях. Природный газ останется основой российского энергоснабжения в целом и основой российской электроэнергетики; потребление нефтепродуктов будет расти или останется на нынешнем уровне; потребление угля снизится, но умеренно, а возможный вклад ВИЭ можно рассмотреть только через очень сильное увеличительное стекло. В Целевом сценарии Консорциума 5 (2024) растет потребление жидкого топлива и природного газа, но снижается потребление угля, а доля ископаемого топлива падает до 81% к 2050 г. и до 75% в 2060 г. В Инерционном сценарии растет потребление жидкого топлива и природного газа, а потребление угля практически стоит на месте до 2050 г. и только к 2060 г. снижается. Доля ископаемого топлива даже немного растет (до 88,5% к 2050 г.) и в 2060 г. возвращается к уровню 2023 г. – 88%. Таким образом, и в этих прогнозах ископаемое топливо «правит бал».

Специалисты РЭА и ЦЭНЭФ-XXI смогли уйти от видения будущего через призму $3F$ и видят возможности снижения доли ископаемого топлива в энергобалансе к середине века до 54-78%, включая значительную часть нефти и газа, используемых в качестве сырья в нефте- и газохимии и при производстве водорода. РЭА только в сценарии «Все как встарь» видит возможности наращивания использования нефтепродуктов и газа в России. В этом сценарии доля ископаемого топлива снижается до 85%. В сценарии «Рациональный технологический выбор» потребление природного газа замораживается, а нефтепродуктов и угля – динамично снижается, и доля ископаемого топлива падает до 75%. Потребление всех ископаемых топлив динамично снижается в сценарии «Чистый ноль», а их доля падает до 54%. Объемы потребления ископаемого топлива снижаются во всех сценариях ЦЭНЭФ-XXI, а доля

1 ископаемого топлива в потреблении первичной энергии в сценарии *4S* составляет 78% в 2050
2 г. и 73% в 2060 г.; в сценарии *4D* – соответственно 69% и 58%; а в сценарии *4F* – 72% и 59%.

3 4.5.3 Прогнозы добычи и потребления ископаемых топлив

4 Только половина добычи ископаемого топлива используется на цели внутреннего
5 потребления. Остальное идет на экспорт. Поэтому оценки добычи ископаемого топлива
6 примерно в равной степени определяются перспективами его экспорта, который зависит и от
7 глобального спроса, и от эффектов глобальной декарбонизации, и от внутреннего потребления,
8 которое является функцией эффективности мер по декарбонизации в России. Прогнозные
9 оценки экспорта нефти и газа, как правило, вводятся в модельные комплексы экзогенно на
10 основе принятых допущений. Они рассмотрены в главе 3.

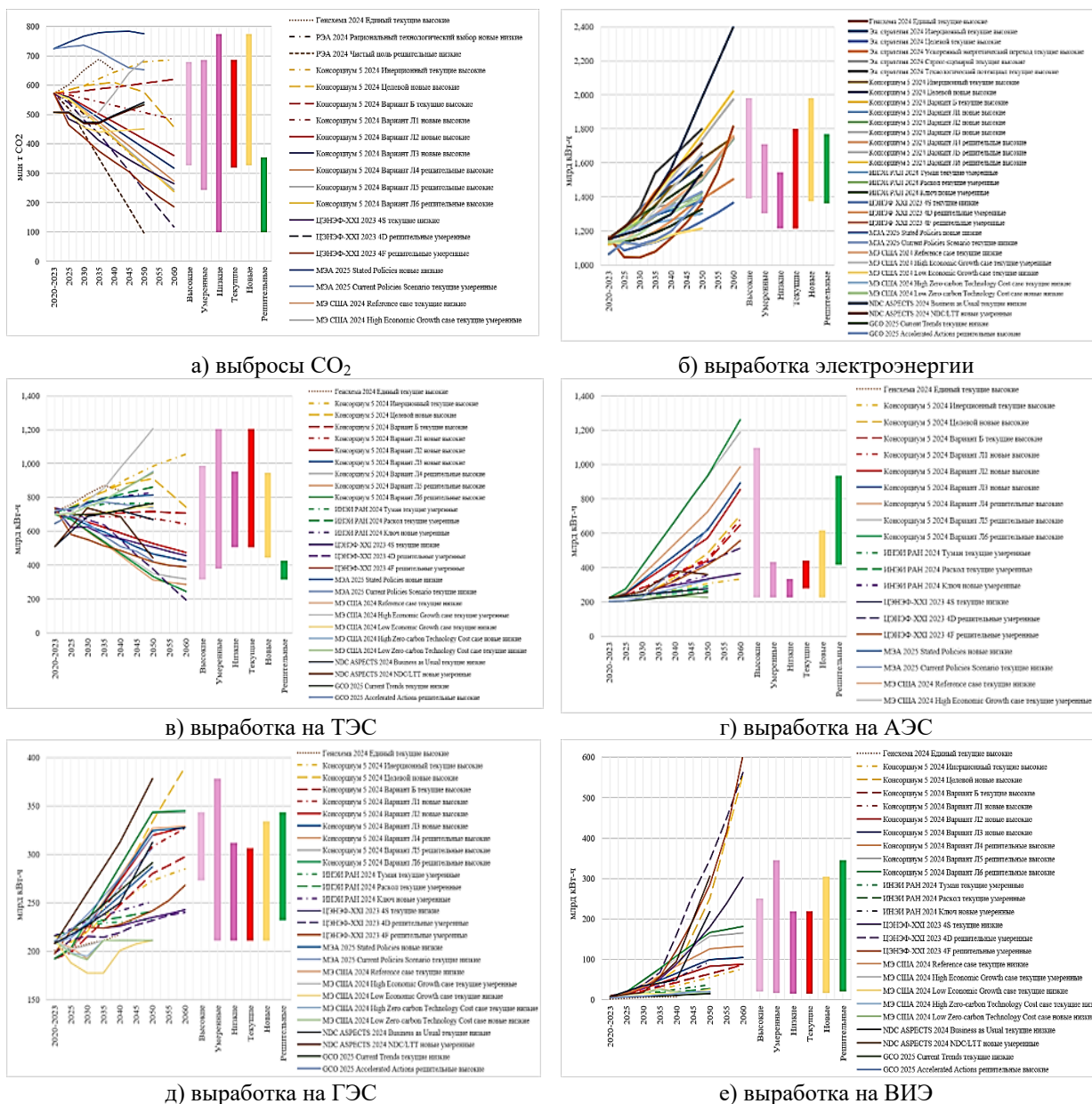
11 РЭА в сценарии «*Чистый ноль*» по сравнению со сценарием «*Всё как встарь*» сокращает к
12 2050 г. производство жидких топлив примерно на 79%, газа – на 56%, угля – на 77%. Масштаб
13 такого изменения отражает прежде всего глобальную траекторию декарбонизации,
14 заложенную в сценарий. ИНЭИ РАН дает значительно более устойчивую траекторию добычи
15 нефти и газа. Наиболее благоприятный для газовой добычи сценарий «*Ключ*» сочетает
16 международную координацию с более высоким экономическим ростом. Одна и та же
17 технология поэтому получает разные функции в зависимости от внешней среды: газ может
18 оставаться экспортным товаром, внутренним переходным ресурсом, источником
19 низкоуглеродного водорода и средством балансирования энергосистемы. На горизонте 2035 г.
20 IEA сохраняет значительные физические объемы российской газовой добычи, но
21 одновременно предполагает более слабые экспортные позиции. Всемирный банк показывает
22 тот же механизм в макроэкономической постановке: глобальная климатическая политика
23 ухудшает условия торговли и сокращает выпуск углеродоемких экспортных отраслей. Для
24 экономики важны объем добычи, цена, география рынка, транспортные издержки и рента от
25 доступа.

26 4.5.4 Декарбонизация электроэнергетики

27 Только в сценариях с высокими темпами экономического роста и сохранением текущих
28 мер политики возможен рост выбросов ПГ в секторе «генерация электроэнергии». При
29 менее амбициозных допущениях о возможном росте экономики сценарные оценки
30 показывают снижение выбросов ПГ, глубина которого зависит от набора мер политики
31 по декарбонизации электроэнергетики. Для сценариев с *решительными мерами*
32 *политики выбросы в 2050 г. составляют примерно половину от их уровня в 2023 г.* На *рис.*
33 *4.5* видно, что уровни выбросов базового года в отдельных моделях не совпадают. Основная
34 причина – разное разнесение потребления топлива на ТЭС на выработку электрической и
35 тепловой энергии, или отнесение всего потребляемого топлива только на выработку
36 электроэнергии, как это сделано в *Генсхеме до 2042 г.* (см. *Башмаков и др., 2026*). Четко
37 прослеживается зависимость диапазонов сценарных оценок от допущений в части наборов мер
38 политики декарбонизации, включая введение цены на углерод. Для *решительных мер* верхняя
39 граница выбросов в 2050 г. не превышает 354 МтCO₂э, а нижняя уходит в зону менее 100
40 МтCO₂э при базовом значении 2023 г. 573 МтCO₂э.

Рисунок 4.5

Параметры выбросов и развития электроэнергетики в сценариях ансамбля моделей



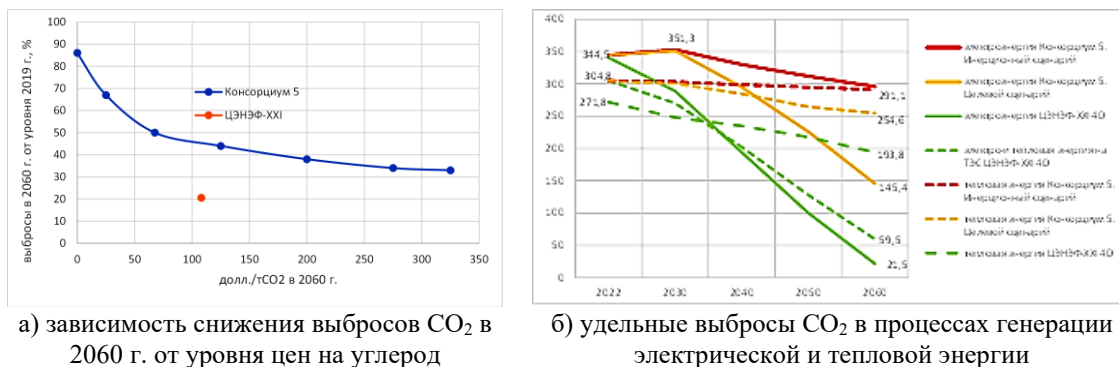
*диапазоны оценок показаны для 2050 г.

Источники: см. источники к табл. 4.2.

В *Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года* показателей выбросов ПГ для электроэнергетики нет. Ее анализ показывает, что в этом документе декарбонизация электроэнергетики не предусмотрена. В *Генеральной схеме до 2042 г.* выбросы от электроэнергетики растут. Консорциум 5 (2024), помимо двух основных сценариев, рассмотрел еще 7 сценариев с широким диапазоном цен на углерод. Их анализ (см. рис. 4.5) показывает, что даже без введения цен на углерод можно добиться снижения выбросов к 2060 г. на 14%; при цене 67,5 долл./тCO₂ – на 50%, а при цене 125 долл./тCO₂ – на 56%. Затем доля безуглеродных источников упирается в потолок 88-90%, что зеркально формирует нижний предел потребления ископаемого топлива на ТЭС. Эти расчетные эксперименты, показавшие

возможность существенного снижения выбросов ПГ в электроэнергетике, не нашли отражения в основных сценариях Консорциума 5. В *Инерционном сценарии* в 2021-2060 гг. выбросы растут на 20% (удельные выбросы снижаются с 344,5 до 295,5 гСО₂/кВт-ч), а в *Целевом* снижаются на 20% (удельные выбросы снижаются до 145,4 гСО₂/кВт-ч, см. рис. 4.6). В этой работе есть еще десятый «*Оптимальный сценарий*», в котором выбросы СО₂ от ТЭС снижаются только на 8%, а удельные выбросы – до 192 гСО₂/кВт-ч. Возможно, что в 2060 г. такие уровни удельных выбросов окажутся самыми высокими в мире (Bashmakov, 2026).

Рисунок 4.6 Зависимость выбросов СО₂ в 2060 г. от уровня цен на углерод и сценарные оценки удельных выбросов СО₂ в процессах генерации электрической и тепловой энергии в России*



* Для электроэнергии, а также для электроэнергии и тепла от ТЭС – гСО₂/кВт-ч, для тепловой энергии – кгСО₂/Гкал.

Источник: Башмаков и др. 2026.

ИНЭИ РАН (2024) не дает оценок выбросов ПГ, но во всех трех сценариях топливная генерация растет. В сценарии РЭА (2024) *Рациональный технологический выбор* снижение выбросов СО₂ в электроэнергетике России в 2022-2050 гг. составляет внушительные 43%, а в сценарии *Чистый ноль* – 83%. В работах ЦЭНЭФ-XXI (Башмаков и др. 2022, 2023а, 2023б; Башмаков 2022а, 2023б) в 2060 г. доля источников с низкими и нулевыми выбросами углерода увеличится с нынешних 40% до 78%, что позволяет снизить удельные выбросы до 100 гСО₂/кВт-ч.

Уровень согласия сценарных прогнозов развития электроэнергетики России довольно низкий. Одна из причин – широкий разброс допущений относительно перспектив экономического роста (рис. 4.хб). Зависимость оценок потребления электроэнергии от роста ВВП нетривиальна: чем выше темпы роста ВВП, тем за счет структурных сдвигов больше отставание роста электропотребления. В *Инерционном сценарии* прогноза Консорциума 5 ВВП до 2060 г. растет на 3,1% в год, а электропотребление – на 1,1%. В *Целевом сценарии* соответствующие параметры равны 2,8% и 1,8%. В прогнозе ИНЭИ РАН ВВП до 2050 года растет на 1,8-2,4% в год, а электропотребление – на 0,4-1% в год. В сценариях 4D и 4S прогноза ЦЭНЭФ-XXI ВВП до 2060 года растет на 0,5% в год, а электропотребление – на 0,9% и на 0,45%. В прогнозе МЭА темп роста ВВП до 2050 г. равен 0,7%, а потребления электроэнергии – 0,65%. В прогнозе МЭ США среднегодовой темп роста ВВП равен 2,1%, а среднегодовой темп роста электропотребления – соответственно 1,4%. Обобщение показывает, что коэффициент эластичности является ассиметричным: чем выше темпы роста экономики, тем ниже его значение.

Рост сценарных оценок потребления электроэнергии определяется не только темпами роста ВВП, но и набором мер по декарбонизации экономики. В процессах декарбонизации экономики ведущая роль отводится электроэнергетике. Это позволяет за счет электрификации на основе использования низкоуглеродной электроэнергии снижать выбросы ПГ в других секторах. Сценарии глубокого сокращения выбросов предполагают ускоренную электрификацию, но различаются ее масштабом. В МAM рост электропотребления существенно выше, чем в WAM, а дорожная карта 4D предполагает удвоение доли электроэнергии в конечном потреблении к 2060 г. Декарбонизация конечных секторов переносит значительную часть инвестиционной и технологической нагрузки на генерацию, сети, резервирование и накопители.

Разброс оценок выработки электроэнергии на ТЭС очень широк. Только в сценариях с решительными мерами политики выработка на ТЭС заметно снижается до узкого диапазона (рис. 4х.в), на основе которого можно формировать целевые установки по генерации на ТЭС в стратегических документах по достижению углеродной нейтральности. В официальных документах Правительства РФ – Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года и Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года – предполагается рост выработки электроэнергии на ТЭС (рис. 4х.в). В Генеральной схеме потребность ТЭС в топливе в 2023-2042 гг. растет на 10%, а эффективность генерации электрической и тепловой энергии на ТЭС замораживается на 21 год. В Целевом сценарии Консорциума 5 генерация электроэнергии на ТЭС выходит на пик – 911 млрд кВт-ч в 2050 г. – и только потом снижается, оставаясь в 2060 г. выше значения 2021 г. В сценариях МЭА и Министерства энергетики США она также растет. Ни в одном из сценариев РЭА потребление ископаемого топлива на цели генерации электроэнергии до 2050 г. не растет. В сценарии Рациональный технологический выбор оно снижается на 36%, а в сценарии Чистый ноль – на 61%. Во всех сценариях ЦЭНЭФ-XXI к 2060 г. генерация на ТЭС заметно снижается. Основная часть прогнозов сходятся на том, что после 2035 г. угольная генерация будет заметно снижаться.

Уровень согласия прогнозов в отношении выработки электроэнергии на бестопливных источниках довольно низкий: она тем выше, чем выше допущения о росте экономики и чем шире набор мер по декарбонизации электроэнергетики (рис. 4х.г-е). Однако сохранение широких диапазонов даже для сценариев с решительными мерами политики отражает разные предпочтения в отношении отдельных технологий. По ВИЭ ИНЭИ РАН (2024) дает диапазон оценок на 2050 г. (млрд кВт-ч): ВЭС – 21-61; СЭС – 11-26; биоТЭС – 5-6; прочие ВИЭ – 1. Итого – 38-94 млрд кВт-ч. Для справки отметим, что в Великобритании уже в 2023 г. на ВЭС и СЭС было выработано 96,2 млрд кВт-ч.⁴ В сценариях РЭА (2024) к 2050 г. выработка на ВЭС и СЭС растет (млрд кВт-ч): Все как встарь – до 15, Рациональный технологический выбор – до 585, а в сценарии Чистый ноль – до 1264. Это самая высокая оценка из всех имеющихся. Консорциум 5 (2024) рассматривает несколько сценариев роста использования ВИЭ (ВЭС и СЭС) в ответ на введение цен на углерод и квотирование выбросов. В зависимости от этого генерация на ВИЭ растет до 64-155 млрд кВт-ч в 2050 г. и до 86-169 млрд кВт-ч в 2060 г. В 2060 г. это составляет только 4-8% в суммарной выработке. В Инерционном сценарии выработка на ВИЭ к 2060 г. растет до 77 млрд кВт-ч (ВЭС – 60, СЭС – 17), а в Целевом – до 557 млрд кВт-ч (ВЭС – 379, СЭС – 178). Это уже значимые 23% всей генерации. В сценариях ЦЭНЭФ-XXI даны следующие оценки (млрд кВт-ч): в 4S централизованная выработка на основе ВЭС и СЭС растет до 279 млрд кВт-ч (21% от всего объема выработки; в доработанной в 2023 г. версии сценария 4D – до 458 млрд кВт-ч, или до

⁴ [UK Energy in Brief 2024](#)

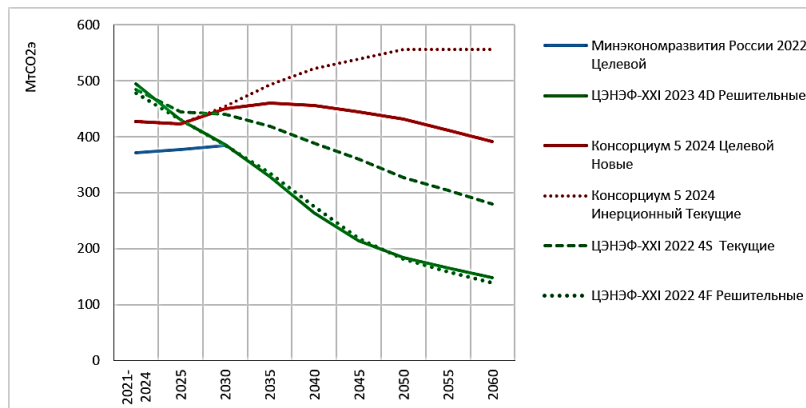
27% от общей выработки, в т.ч. 265 млрд кВт-ч на ВЭС и 193 млрд кВт-ч на СЭС; в сценарии 4F ветровая генерация достигает 352 млрд кВт-ч, а солнечная – 192 млрд кВт-ч, или в сумме 544 млрд кВт-ч, и они суммарно обеспечивают вполне реалистичные 30% совокупной выработки электроэнергии.

Диапазон видения будущего ВИЭ в электроэнергетике России очень широк: от 15 до 1264 млрд кВт-ч. Если не рассматривать крайние значения, то он сужается до 77-557 млрд кВт-ч, но все еще остается довольно широким. В оценках перспектив развития ВИЭ в мире многие оптимисты оказались пессимистами: генерация на ВИЭ росла намного быстрее даже их ожиданий. Конкурентоспособность низкоуглеродных технологий определяет скорость их проникновения на рынок и вытеснения топливных ТЭС. Во многих сценариях ВЭС и СЭС выигрывают конкуренцию с топливной генерацией на фоне роста цен на топливо и повышения CAPEXов на модернизацию действующих и на строительство новых ТЭС.

Атомная энергетика сохраняет заметную роль во всех рассматриваемых российских сценариях глубокого сокращения выбросов, но ее сочетание с ВИЭ и газовой генерацией различается. Эти различия отражают предпосылки о сроках строительства, стоимости капитала, загрузке мощностей и допустимой доле переменных ВИЭ. Газ в части сценариев сохраняет функции балансирования и теплоснабжения, тогда как в наиболее глубокой траектории РЭА его производство к 2050 г. сокращается более чем наполовину относительно инерционного варианта.

4.5.5 Промышленность

Для повышения надежности оценок возможностей декарбонизации промышленных процессов требуются дополнительные исследования. Сценарные оценки выбросов ПГ от промышленности выделяются только в сценариях ЦЭНЭФ-XXI (Башмаков и др., 2022, 2023) и Консорциума 5 (2024). Помимо выбросов от сжигания топлива эти работы также отражают динамику выбросов от промышленных процессов. Базовые уровни на рис. 4.7 различаются из-за разного охвата отраслей. В работах ЦЭНЭФ-XXI в сектор «промышленность» включена добыча и переработка топлива. Данные на рис. 4.7 не включают фугитивные выбросы. В Инерционном сценарии Консорциума 5 выбросы от промышленных процессов к 2060 году растут на 40%, а в Целевом сначала растут, а затем снижаются до уровня, близкого к исходному, в основном за счет применения технологии CCUS. Во всех сценариях ЦЭНЭФ-XXI применяются не только технологии CCUS, но и технологии, позволяющие заместить ископаемое топливо, используемое в качестве сырья и восстановителя водородом в черной металлургии и аммиачной промышленности. Базовый уровень выбросов в промышленности на рис. 4.x превышает 400 МтCO₂э. С учетом косвенных выбросов ПГ, по оценке ЦЭНЭФ-XXI, выбросы в промышленности в 2024 году превышали 800 МтCO₂э. Это больше суммарных выбросов ПГ в таких странах, как Германия или Канада (EDRAR, 2026).

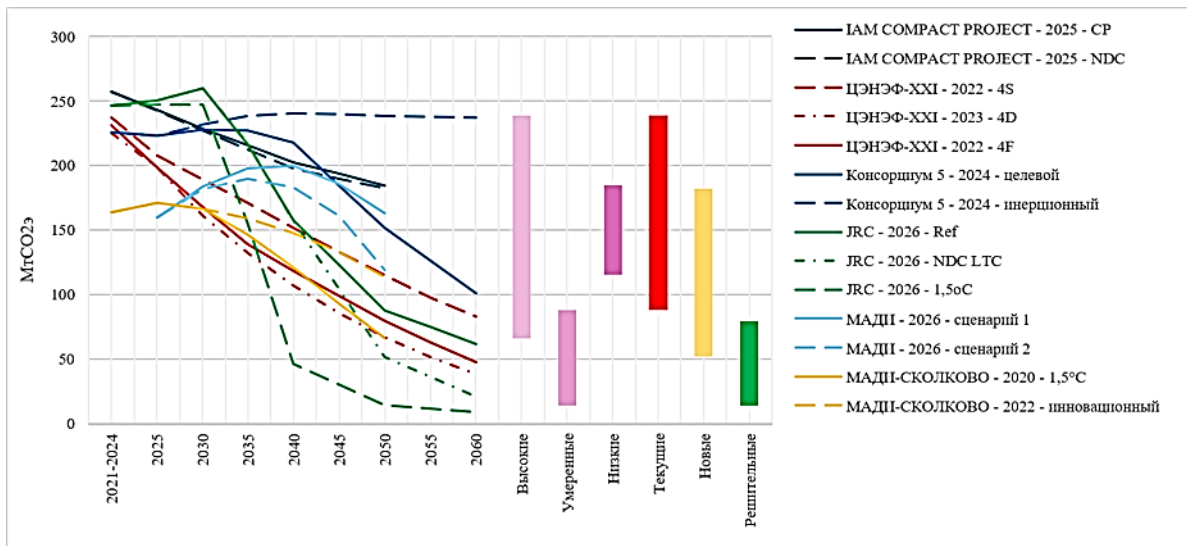


*диапазоны оценок показаны для 2050 г.

Источники: Консорциум 5 (2024); Башмаков и др. (2022, 2023).

4.5.6 Транспорт

Только в *Инерционном* сценарии Консорциума 5 ожидается рост прямых выбросов от транспорта до 2035 г. с последующим выходом на плато до 2060 г. В прогнозе МАДИ 2023 г. выбросы от автомобильного транспорта растут до 2035-2040 гг., а затем снижаются. Во всех остальных сценариях на всем горизонте до 2060 г. выбросы ПГ снижаются (рис. 4.8). Динамика выбросов в этом секторе в большей мере зависит от интенсивности мер политики, чем от динамики экономического роста. В моделях, где транспортный сектор интегрирован с другими секторами, по мере декарбонизации снижаются объемы работы по транспортировке топлива, которая занимает более половины грузооборота, что работает на снижение выбросов. В дорожной карте ЦЭНЭФ-XXI грузооборот к 2060 г. снижается на 40% (Башмаков и др., 2023). По мере снижения численности населения и его старения, роста доли занятых дистанционно и развития ИИ технологий снижается и пассажирооборот. Транспортная модель МАДИ отражает только выбросы от дорожного транспорта, тогда как прочие модели (ЦЭНЭФ-XXI, Консорциум 5, JVC и IAM Compact) охватывают все виды транспорта. Выбросы от дорожного транспорта доминируют, поэтому логика его моделирования существенно отражается на общем результате.



*диапазоны оценок показаны для 2050 г.

Источники: Башмаков и др. (2022, 2023); Консорциум 5 (2024); Трофименко и др., 2022, 2023; IAM Compact, 2025; Keramidas K. et al., (2026).

В отношении легкового транспорта важный источник неопределенности – несогласие теоретических моделей относительно пика и насыщения в обеспеченности автомобилями (Башмаков, 2023). Согласно теории пика, пробег личного автомобиля в расчете на душу населения по мере роста дохода достигает пика, а затем устойчиво снижается. Согласно модели насыщения рынка, использование автомобиля выходит на полку и остается на ней при росте дохода. Теория пика базируется на сокращении использования личных автомобилей во многих странах и во многих городах. В сценарии ЦЭНЭФ-XXI 4D декарбонизация на транспорте опирается на существенное изменение интенсивности и структуры мобильности в соответствии с моделью пика. Важным аргументом в пользу выбора для России модели пика является неспособность российских потребителей во всех децилях заметно повысить обеспеченность автомобилями при очень медленном ожидаемом росте их доходов и уже произошедшем резком удорожании автомобилей. В таком анализе важно учитывать распределение доходов. Так, Башмаков (2023) показывает, что среднегодовой пробег автомобиля для десятого дециля по доходам почти на порядок выше, чем для первого.

На имитационной модели МАДИ сценарный прогноз выполнен на основании оценок уровня автомобилизации и динамики поставок и выбытия автомобилей, использующих разные типы энергоустановок (ЭУ) (Trofimenko et al., 2020; Trofimenko et al., 2020a; Trofimenko and Komkov, 2021). Для периода после 2035 г. по инерционному сценарию было принято допущение о сохранении линейных трендов структуры продаж, оцененных для 2020-2035 гг. В этом сценарии до 2035 г. сохраняется доминирование автомобилей с ДВС с постепенным ростом доли электромобилей и гибридов. По инновационному сценарию после 2035 г. доли поставок смещаются в пользу АТС с тяговым электроприводом (с зарядкой от постороннего или бортового источника электроэнергии – водородного бака и топливных элементов). Принимается допущение, что АТС на СПГ, а также автомобили с топливными элементами на водороде появятся в парке не ранее 2030 г. При реализации инерционного сценария доля легковых электромобилей и гибридов к 2050 г. может составить 23% парка, лёгких коммерческих – 12%, грузовых электромобилей и электробусов – не более 15%. При реализации инновационного

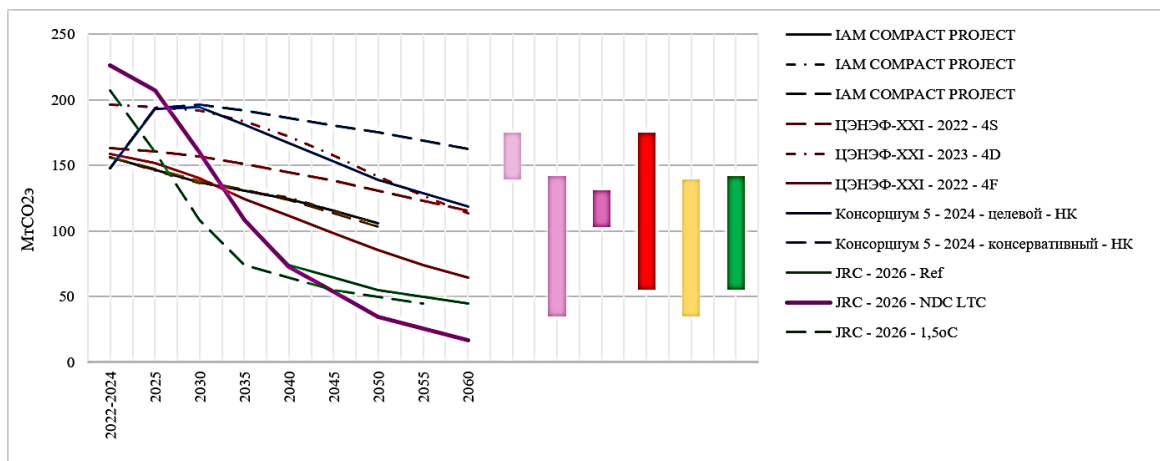
сценария (декарбонизация) доля легковых электромобилей может составлять 49% парка в 2050 г. В структуре парка электротранспорта доля гибридов будет постепенно снижаться с 86% до 10% к 2050 г. Оценки выбросов ПГ проведены с использованием программы COPERT. По этим оценкам, выбросы ПГ автомобильным транспортом по инерционному сценарию будут расти до 2040 г. (до 199,5 МтСО₂э), а далее снизятся до 165,6 МтСО₂э в 2050 г., что на 15,6 МтСО₂э выше уровня базового 2022 г. (рис. 4.х). Разница в объемах выбросов ПГ между двумя сценариями постепенно возрастает за счёт более интенсивного замещения традиционных видов топлива и энергии безуглеродными и к 2050 г. достигает 17%.

МАДИ в 2026 г. пересмотрел свой более ранний прогноз. Если в работе Трофименко и др. (2022) выбросы ПГ от автомобильного транспорта снижались после 2025 г., то в обновленном прогнозе они растут до 2035-2040 гг. и только затем начинают снижаться. В сентябре 2026 года МАДИ разработан консервативный (трендовый) вариант прогноза автопарка по типу энергоустановок на период до 2060 год с уточнением численности и структуры парка в 2023-2025 гг. и на последующие годы и прямых валовых выбросов ПГ. Ожидается, что парк бензиновых и дизельных ТС в ближайшие 35 лет практически не изменится, а парк электромобилей всех типов вырастет с 86 тыс. в 2025 г. до 3,6 млн в 2060 г., или до 6% от всего парка АТС. В этом случае выбросы ПГ автотранспортом (рассчитанные по программе COPERT при сохранении годовых пробегов и удельных показателей энергозатрат на единицу пробега 217 типов и подтипов ТС) могут вырасти к 2060 г. до 244 Мт СО₂э, или на 25% от уровня 2025 г.

В дорожной карте ЦЭНЭФ-XXI по достижению углеродной нейтральности парк легковых автомобилей к 2060 г. снижается почти в 2 раза, а доля электромобилей растет до 53%, а электробусов – до 74%. Выбросы от всего транспорта снижаются на 80% – с 236 МтСО₂ в 2021 г. до 46 МтСО₂ в 2060 г. Динамичное снижение выбросов также отражено с сценариях JRC и IEA COMPACT.

4.5.7 Здания

Только в сценариях Консорциума 5 ожидается рост прямых выбросов от сжигания топлива в зданиях до 2045 г. с последующей возможностью снижения по отношению к базовому году. Во всех остальных сценариях на всем горизонте до 2060 г. выбросы ПГ от сектора зданий снижаются. Динамика выбросов ПГ от сжигания топлива выделяется сравнительно редко. Охват источников выбросов и название этого сектора в отдельных работах, как правило, не совпадают. В работе Консорциума 5 – это «бытовой сектор», однако, судя по данным, он охватывает не только жилые, но и общественные здания. В работе JRC сектор назван «здания», но указанные объемы выбросов заметно превышают альтернативные оценки (рис. 4х). В работах ЦЭНЭФ-XXI расчеты ведутся отдельно по жилым зданиям (для них создана специальная модель с высоким уровнем детализации) и общественным зданиям – коммерческим и бюджетным. Целевой и Инерционный сценарии Консорциума 5 до 2030 г. не различаются. Затем выбросы снижаются, но в Инерционном сценарии в 2060 г. превышают уровень базового года, а в Целевом возвращаются к нему только в 2045 г. и лишь затем снижаются, но в 2060 г. превышают значения любого из альтернативных сценариев, показанных на рис. 4.9. В 2000-2024 гг. прямые выбросы ПГ от сжигания топлива в зданиях не росли. Не очень понятно, за счет каких факторов ожидается их скачок в оценках Консорциума 5.



*диапазоны оценок показаны для 2050 г.

Источники: Башмаков и др. (2022, 2023); Консорциум 5 (2024); IAM Compact, 2025; Keramidas K. et al., (2026).

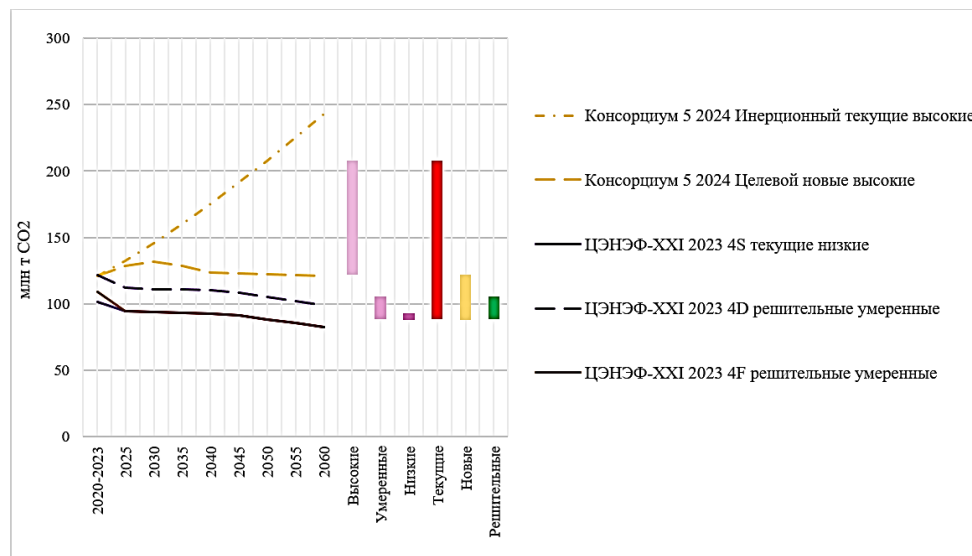
ЦЭНЭФ-XXI, JRC и IAM Compact искали траектории снижения выбросов в семействе сценариев *Forest Last* и показали их. В сценариях JRC отражено очень резкое снижение выбросов ПГ уже к 2035-2040 гг., а в сценариях ЦЭНЭФ-XXI и IAM Compact снижение происходит более плавно. ЦЭНЭФ-XXI предложил дорожную карту по декарбонизации сектора жилых зданий (Башмаков и др., 2023). По этой карте, прямые и косвенные выбросы от жилых зданий снижаются к 2060 г. на 60% за счет внедрения новых требований по энергоэффективности при строительстве новых зданий и капитальном ремонте существующих, внедрении новых технологий повышения сопротивления теплопередаче (аэрогели, пенокерамика, материалы с фазовым переходом); балансирования спроса и предложения тепла в зданиях для систем теплоснабжения 4-го и 5-го поколений, интегрирующих все системы энергоснабжения и хранения энергии в зданиях; использования тепловых насосов, солнечных панелей и водоподогревателей. Для продвижения этих технологий предлагается использовать налоговые льготы застройщикам, достигающим высоких параметров энергоэффективности зданий, схемы софинансирования глубокого энергоэффективного капитального ремонта, применение «зеленой» ипотеки, «белых сертификатов», реализации программы «ВИЭ в зданиях» с целевыми показателями декарбонизации в рамках национального мега-проекта по развитию ВИЭ. Предлагается запустить две федеральные программы: «Активное строительство «пассивных» зданий» и «Глубокая и широкая реновация» с постепенным повышением требований по теплозащите зданий до уровня «пассивного здания» и повышением доли МКД, на которых реализуется глубокий капитальный ремонт со значительным снижением удельных расходов энергии.

4.5.8 Сельское хозяйство

В сфере долгосрочного прогнозирования выбросов ПГ от сельского хозяйства в России существует явный пробел в знаниях. Только Консорциум 5 (2024) и ЦЭНЭФ-XXI (Башмаков и др., 2022, 2023) дают прогнозные оценки выбросов в этом секторе (рис. 4.10). В Инерционном сценарии Консорциума 5 заложен более чем двукратный рост выбросов. Основания для таких оценок неясны. В 2010-2024 гг. выбросы в этом секторе выросли, но только на 12 МтCO₂э. Непонятно, за счет чего в Инерционном сценарии они могут вырасти на 122 МтCO₂э к 2060 г., особенно с учетом того, что ЗИЗЛХ составит жесткую конкуренцию за земли. В остальных сценариях на рис. 4.x выбросы снижаются. Однако требуется совершенствование моделей и

проведение дополнительных исследований для более адекватного отражения эффектов возможных мер политики по контролю за выбросами ПГ от сельского хозяйства. Это важно, поскольку выбросы от этого сектора в 2024 г. составили 101 МтСО₂. Это больше суммарных выбросов ПГ в Чехии (EDRAR, 2026).

Рисунок 4.10 Динамика выбросов от промышленности в различных сценариях



*диапазоны оценок показаны для 2050 г.

Источники: Башмаков и др. (2022, 2023); Консорциум 5 (2024).

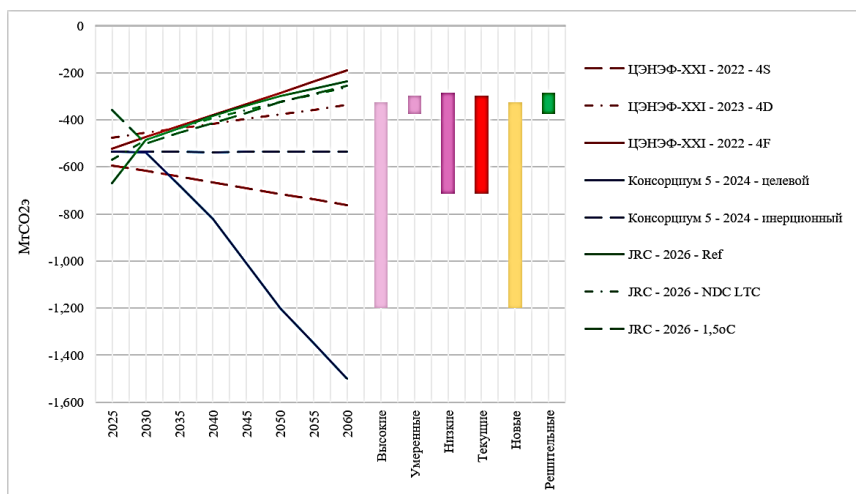
4.5.9 ЗИЗЛХ

Оценки ключевой для семейства сценариев *Forest First* долгосрочной динамики объема нетто-стоков в секторе ЗИЗЛХ не имеют под собой надежной методической базы. Динамика выбросов и стоков ПГ в секторе ЗИЗЛХ задается во многих сценариях либо экзогенно (Консорциум 5, 2024; ИНП РАН (2023)), либо, как это делает ЦЭНЭФ-XXI, оценивается по остаточному принципу для достижения углеродной нейтральности (Башмаков и др., 2022, 2023). Прежде для оценки перспектив динамики нетто выбросов в управляемых лесах использовалась модель РОБУЛ и ее модификации (Замолотчиков и др., 2013). Однако эта модель давала снижение нетто-стоков. Поэтому она была отвергнута, а новой на смену ей не появилось. Это серьезный пробел в знаниях, который должен быть заполнен.

Для достижения углеродной нейтральности по стратегии *Forest First* необходимо: (а) остановить тренд к снижению нетто-стоков и (б) нарастить нетто-стоки. Решение тендема этих задач независимо от корректности новой оценки стоков равнозначно их увеличению на фантастические 1,5 ГтСО₂ за счет использования потенциала природных экосистем. По расчетам Консорциума 5 и ИНП РАН (с использованием прежних оценок нетто-стоков в ЗИЗЛХ), для достижения углеродной нейтральности нужно увеличить стоки в ЗИЗЛХ на 950 МтСО₂ (рис. 4.11). Нужно также компенсировать тренд к снижению стоков. По прежним оценкам НДК, это снижение составляло 13,6 МтСО₂ в год. Экстраполяция этого тренда до 2060 г давала потерю стоков на 530 МтСО₂. В сумме для достижения углеродной нейтральности нужно было добавить почти 1,5 Гт МтСО₂ стоков в ЗИЗЛХ. После пересмотра НДК решение задачи изменилось. Как было показано в главе 2, нетто-стоки в ЗИЗЛХ в 2009-2024 гг. сокращались в среднем на 38 МтСО₂ в год. Если экстраполировать этот тренд до 2060 г., то

получим снижение стоков на 1368 МтСО₂ (38*36 лет). В НДК (2026) нетто-сток оценен равным 1143 МтСО₂. То есть в 2060 году получаем уже положительный вклад ЗИЗЛХ в суммарные выбросы: выбросы с учетом ЗИЗЛХ становятся больше, чем без их учета. Но еще нужно компенсировать оставшиеся выбросы ПГ в других секторах, а значит, решение за счет ЗИЗЛХ выходит даже за пределы дополнительных 1,5 Гт МтСО₂. Как сказано выше, моделей для обоснования возможности наращивания нетто-стоков на такие планетарные объемы просто нет. Согласно НДК 2026, запас углерода прирастает в год на 0,3 тСО₂/га, или на 1,1 тСО₂/га. Даже при этой оценке, которая в 2 раза превышает показатель для близких по характеристикам лесов других стран, получается, что для решения задачи нужно увеличить площадь зрелых лесов на 1364 млн га. Где взять столько земли? Даже если все россияне покинут страну и дадут ей зарастить лесами (там, где они могут расти (!): напомним, что 340 млн га российской земли – это тундра, где леса расти не могут), то и тогда решить эту задачу не получится. В расчетах ЦЭНЭФ-XXI наращивание стоков на 210 МтСО₂ требуется только в сценарии 4S, в котором и рост, и модернизация экономики происходят очень медленно. Основная же часть сценариев исходит из того, что нетто-стоки в ЗИЗЛХ будут сокращаться, а значит, стратегия *Forest First* не позволяет решать задачу достижения углеродной нейтральности.

Рисунок 4.11 Динамика выбросов (без ЗИЗЛХ) в различных сценариях



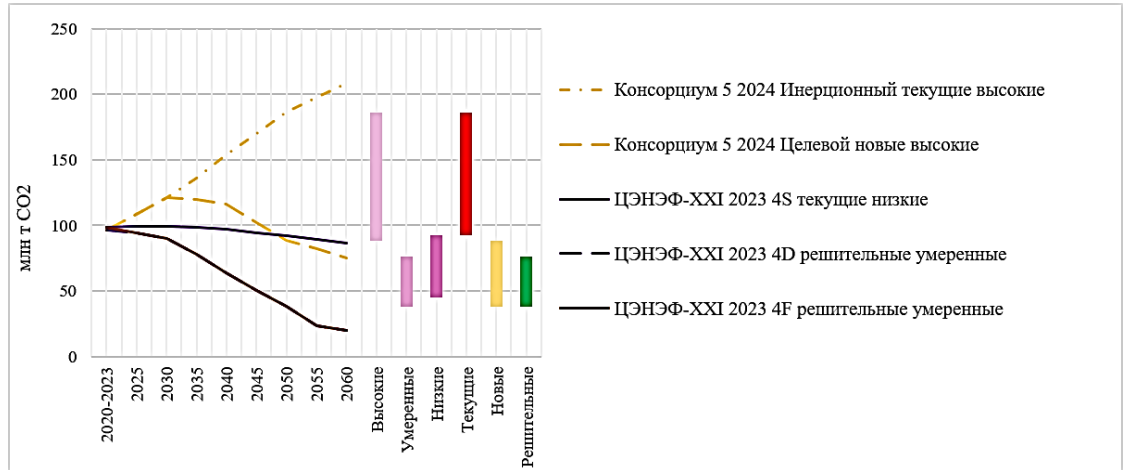
*диапазоны оценок показаны для 2050 г.

Источники: Башмаков и др. (2022, 2023); Консорциум 5 (2024); Keramidas K. et al. (2026).

4.5.10 Отходы

В сфере долгосрочного прогнозирования выбросов ПГ от управления отходами в России существует явный пробел в знаниях. Только Консорциум 5 (2024) и ЦЭНЭФ-XXI (Башмаков и др., 2022, 2023) дают прогнозные оценки выбросов в этом секторе (рис. 4.12). Как и в случае с сельским хозяйством, в *Инерционном* сценарии Консорциума 5 заложен более чем двукратный рост выбросов. В 2010-2024 гг. выбросы в этом секторе выросли на 13,5 МтСО₂. Экстраполяция такого тренда дает прирост к 2060 г. в размере 35 МтСО₂, а не на 100 МтСО₂, как в этом сценарии Консорциума 5. ЦЭНЭФ-XXI в составе своего модельного комплекса сформировал модель WASTE для оценки эффектов возможных мер политики по контролю за выбросами ПГ в секторе отходов. На ее основе в сценариях 4D и 4F был определен набор мер, позволяющих заметно снизить выбросы от этого сектора. Дальнейшие исследования в этой сфере очень важны, поскольку выбросы от этого сектора в 2024 г. составили 88 МтСО₂. Это больше суммарных выбросов ПГ в таких странах, как Австрия и Белоруссия (EDRAR, 2026).

Рисунок 4.12 Динамика выбросов ПГ в секторе «отходы» в различных сценариях



*диапазоны оценок показаны для 2050 г.

Источники: Башмаков и др. (2022, 2023); Консорциум 5 (2024).

4.6 Инвестиции, макроэкономические последствия и переходные риски

В рассмотренных работах используется множество разных метрик затрат, связанных с декарбонизацией, что затрудняет сравнение затрат и эффектов для сценариев, полученных на разных моделях. Эти метрики включают: изменение благосостояния, измеряемого дисконтированным частным потреблением; суммарные капитальные вложения в энергетический переход; приростные капитальные вложения;⁵ долю капитальных вложений в декарбонизацию в ВВП; расходы на энергоснабжение в целом по экономике и по основным направлениям использования энергии; цены на углерод; цены переключения; сумму поступлений от механизмов с ценой на углерод и их долю в ВВП; отношение расходов на энергию к ВВП, которое отражает уровень экономической доступности энергии и др. В качестве критериев принятия инвестиционных решений используются приведенные затраты на производство энергии (LCOE) и промышленной продукции, приведенная стоимость экономии энергии, стоимость владения транспортными средствами, стоимость цикла жизни зданий и др. Опубликованные оценки затрат и выгод часто относятся к разным экономическим понятиям и поэтому не образуют единой шкалы для оценки стоимости энергоперехода и декарбонизации как по экономике в целом, так и отдельных секторов. Инвестиционные потребности, отклонение ВВП или благосостояния, изменение цены электроэнергии и углеродная цена сопоставимы только после проверки состава затрат, горизонта, механизма финансирования и дисконтирования, базового сценария и ценовой базы. Инвестиционные оценки особенно чувствительны к определению дополнительных расходов. Выборка оценок приведена в табл. 4.х.

⁵ Обычно оценивают приростные капитальные вложения (IEA, 2023), поскольку инвестиции делаются не столько ради снижения выбросов ПГ, сколько ради получения доходов от выработки электроэнергии, производства продукции и транспортной работы, строительства жилья и пр. Доля приростных инвестиций, сопряженных именно со снижением выбросов ПГ, для отдельных технологий может варьировать от 0 до 100%, а в основном она равна 5-20%. Если стоимость автомобиля с ДВС равна 30 тыс. долл., в стоимость электромобиля – 34 тыс. долл., то приростные капитальные вложения составляют 4 тыс. долл. Их и следует использовать в расчетах.

1 **Таблица 4.5 Выборочные метрики затрат в работах аналитических центров**

Источник	Сценарий	Показатель	Значение	Комментарий
Банк России	CBAM Moderate	Отклонение реального ВВП, 2040	–4,37% к BAU	Без внутренней ETS
Банк России	ETS + CBAM Moderate	Отклонение реального ВВП, 2040	–4,65% к BAU	Около –0,3 п.п. добавляет внутренняя политика
Банк России	ETS + CBAM Extreme	Отклонение реального ВВП, 2040	–11,29% к BAU	Около –7 п.п. – внешние условия; –4,3 п.п. – внутренняя политика
ВЭБ.РФ	Инерционный	Кумулятивные инвестиции, 2022–2050	20,4 трлн руб. 2021; 0,46% ВВП/год	Без ряда мер по энергоэффективности
ВЭБ.РФ	Целевой	Кумулятивные инвестиции, 2022–2050	46,9 трлн руб. 2021; 0,73% ВВП/год	Без ряда мер по энергоэффективности
Банк России	CBAM Moderate	Отклонение реального ВВП, 2040	–4,37% к BAU	Без внутренней ETS
Банк России	ETS + CBAM Moderate	Отклонение реального ВВП, 2040	–4,65% к BAU	Около –0,3 п.п. добавляет внутренняя политика
Банк России	ETS + CBAM Extreme	Отклонение реального ВВП, 2040	–11,29% к BAU	Около –7 п.п. – внешние условия; –4,3 п.п. – внутренняя политика
ЦЭНЭФ-XXI	4S	Кумулятивные инвестиции, 2022–2050	Всего 247 трлн руб. 2021; митигация – 78 трлн руб. 2021	Доля в ВВП без инвестиций в топливную энергетику 2,1-2,2% в 2021-2025 гг. и 1,5-1,7% в 2050-2060 гг.
ЦЭНЭФ-XXI	4D	Кумулятивные инвестиции во все сектора, 2022–2060	Всего 197 трлн руб. 2021; митигация 91 трлн руб. 2021	Доля в ВВП без инвестиций в топливную энергетику 2,1-2,2% в 2021-2025 гг. и 1,5-1,7% в 2050-2060 гг.
ЦЭНЭФ-XXI	4F	Кумулятивные инвестиции во все сектора, 2022–2060	Всего 231 трлн руб. 2021; митигация – 119 трлн руб. 2021	Доля в ВВП без инвестиций в топливную энергетику 3,2% в 2021-2025 гг. и 2,4% в 2050-2060 гг.
РСПП и ИНП РАН	Агрессивный	Кумулятивные инвестиции во все сектора и в адаптацию, 2024–2060 гг.	Всего: 118 трлн руб. 2021;	Из них на митигацию – 118, на адаптацию – 0
РСПП и ИНП РАН	Оптимальный	Кумулятивные инвестиции во все сектора и в адаптацию, 2024–2060 гг.	67 трлн руб. 2021	Из них на митигацию – 40, на адаптацию – 27
РСПП и ИНП РАН	Умеренный	Кумулятивные инвестиции во все сектора и в адаптацию, 2024–2060 гг.	104 трлн руб. 2021	Из них на митигацию – 77, на адаптацию – 27
Shirov et al.	WAM	Инвестиции в декарбонизацию, 2021–2050	1,00% накопленного ВВП	ВВП растет в среднем на 2,29% в год
Shirov et al.	MAM	Инвестиции в декарбонизацию, 2021–2050	2,85% накопленного ВВП	ВВП растет на 1,97%; цена электроэнергии +91%
World Bank	Cooperative global action	Выпуск угля и газа, 2050	–44...–66% к Reference	Одновременно меняются цены и торговля
World Bank	Diversification	Эффект на благосостояние, 2050	+3,4%	К сценарию без диверсификации

2 Источник: Башмаков и др., 2022, 2023; Shirov et al. (2023), табл. 4–5; ВЭБ.РФ (2023); Turdyeva (2024), РСПП и
3 РАН 2026; таблицы приложения и абстракт; World Bank (2021). Показатели различаются по концепции, базе и
4 горизонту.

5 **Низкая сопоставимость оценок и многочисленность метрик затрат на декарбонизацию в**
6 **работах разных аналитических групп существенно сдерживает принятие стратегических**
7 **решений по выбору траекторий движения к углеродной нейтральности.** Главный
8 аргумент противников декарбонизации – это очень дорого, а значит, чтобы избежать потерь
9 экономического роста, необходимо ограничить амбиции по декарбонизации. Нужно
10 разобраться, так ли это, а для этого нужно сначала разобраться с метриками затрат на
11 декарбонизацию. Если метрики для сравнения сценариев по уровню затрат выбраны неверно,
12 то результаты оптимизации малозначимы. При сравнении технологий по удельным затратам
13 **ИНП РАН (2023)** использует показатель «удельные капитальные вложения на единицу
14 снижения выбросов ПГ», которые определены делением инвестиций на сопряженное с ними
15 снижение выбросов ПГ в 2060 г. Таким образом, ИНП РАН соотносит все инвестиции только
16 с одним эффектом, что некорректно. Даже при выбранном методе сравнения затрат не
17 учитывается тот факт, что снижение выбросов ПГ будет получаться и до, и после 2060 года, в
18 течение десятков лет в зависимости от разных сроков жизни отдельных технологий. ЦЭНЭФ-

XXI, напротив, оперирует показателями приростных капитальных вложений. Кроме того, при сравнении затрат, как правило, оценивают приведенные затраты с учетом экономии расходов на топливо и энергию, на снижение вредных выбросов, на снижение простоев, на рост выхода продукции и т.п. Для строительства ВЭС капитальные вложения нужны, но в отличие от ТЭС, для ВЭС нет затрат на топливо. Так что приведенные в работе ИНП РАН удельные капитальные вложения многократно завышены и малоинформативны в качестве критерия для сравнения технологий. Для этих целей должны использоваться другие метрики: приведенные затраты, затраты цикла жизни здания, стоимость владения автомобилем и т. п. Пример корректного учета затрат дан в работе [The Seventh Carbon Budget \(2025\)](#).

Потребность в инвестициях одновременно является параметром технологического перехода и каналом макроэкономического воздействия. В отношении последнего сценарные оценки заметно различаются. Важный аспект – учет того факта, что инвестиции в декарбонизацию позволяют снизить потребность в инвестициях в топливную энергетику, которые имеют очень низкие уровни капиталоемкости. ВЭБ.РФ публикует значительно более высокую кумулятивную оценку вложений в целевом сценарии, чем в инерционном, но состав расходов раскрыт не полностью и, в частности, не включает ряд мер по энергоэффективности. Поэтому внешне похожие показатели доли ВВП нельзя напрямую сравнивать с CONTO без согласования состава мер и знаменателя. В CONTO специализированные вложения в декарбонизацию вытесняют часть других инвестиций, причем в МАМ около двух третей таких расходов приходится на электроэнергетику. Авторы отдельно отмечают, что отсутствие долгового финансирования усиливает отрицательный эффект. Эти результаты нельзя напрямую переносить на модели, в которых источник финансирования или механизм накопления капитала задан иначе. Однако не ясно, почему в CONTO за счет инвестиций в декарбонизацию это замедляет рост. Эффект зависит от параметров капиталоемкости, которые для топливной энергетики являются очень низкими. В сценариях ЦЭНЭФ-XXI по мере снижения инвестиций в топливную энергетику рост инвестиций в низкоуглеродные решения не приводит ни к дополнительному спросу на инвестиции, ни к торможению ВВП. В работах ЦЭНЭФ-XXI кумулятивные инвестиции в сценариях *4D* и *4F* выше, чем в *4S*, но за счет роста инвестиций в митигацию снижаются капитальные вложения в топливную энергетику, что позволяет ускорить рост ВВП.

Отдельного обсуждения заслуживает наличие пороговых значений долей затрат на энергию и доли инвестиций в митигацию в ВВП в качестве критерия реализуемости сценариев. ЦЭНЭФ-XXI опирается на разработки Башмакова ([2007; 2017; 2018; 2025](#)) по формулировке первого закона энергетической трансформации, согласно которому в долгосрочной перспективе доля расходов на энергию в доходах сравнительно стабильна и может устойчиво варьировать только в очень ограниченном диапазоне. Заступ за верхний порог (около 10% ВВП для экономики в целом и специфичный – 3-5% от валового дохода для отдельных секторов) тормозит экономический рост. Если по итогам реализации сценария доля расходов на энергию превышает пороговые значения, то допущения о высоких темпах роста экономики становятся несовместимы с полученными результатами. Только в работах ЦЭНЭФ-XXI ([Bashmakov et al., 2022, 2023](#)) ведется мониторинг экономической доступности энергии и на этой основе оценивается реализуемость отдельных сценариев. Доходы от цены на углерод достигают 1,3-1,6% ВВП. В других работах, например, РЭА (2024), в качестве порога используется доля инвестиций в энергопереход в ВВП. В сценариях *4D* и *4F* доля инвестиций в низкоуглеродную трансформацию достигает 3,2% ВВП в 2040-х годах и затем неуклонно снижается до 1,2-2,4% к 2060 г. Доля расходов на энергию в доходах остается ниже порогов и диапазонов, зарегистрированных в 2000-2021 годах. Пороговые значения этого параметра еще

мало исследованы, но практика Китая показывает, что значение 4,5% – это еще не предел. Все значения в табл. 4.х ниже этой планки.

Полученные оценки значений цен на углерод корректнее рассматривать как индикаторы жесткости конкретной модельной постановки, а не как единый прогноз рыночной цены углерода. Углеродные цены также неоднородны по экономическому смыслу. В одних моделях цена рассчитывается эндогенно как стоимость выполнения ограничения на выбросы, в других задается как инструмент сценария. Различаются охват выбросов, базовые годы, валюты и набор доступных технологий и охват секторов, где вводятся механизмы с ценой на углерод. Ценовые эффекты зависят от всей конфигурации системы. В CONTO более глубокая траектория сопровождается существенно более сильным ростом реальной цены электроэнергии; авторы связывают его с вводом и резервированием мощностей, модернизацией тепловой генерации и инвестиционным вытеснением. Такая оценка характеризует системный результат сценария и не может быть сведена к удельной стоимости отдельных технологий.

Оценки влияния мер по декарбонизации на ВВП в сценариях сильно различаются (табл. 4.х). Положительные макроэкономические эффекты публикуются намного реже, чем инвестиционные потребности и потери выпуска. Всемирный банк показывает выигрыш благосостояния от диверсификации относительно сценария без нее, однако в большинстве других источников аналогичные выгоды не представлены в сопоставимой форме. Поэтому существующая литература не позволяет построить симметричный единый баланс затрат и выгод.

4.7 Уровни согласованности сценарных оценок

4.7.1 Положения, по которым имеется высокий уровень согласованности сценарных оценок

Сопоставление сформированных разными группами экспертов траекторий декарбонизации позволяют выявить несколько результатов, повторяющихся в независимых источниках:

1. Энергоэффективность является неотъемлемой частью пакета мер политики, снижает масштаб необходимой трансформации, но без дополнения другими мерами не обеспечивает глубокого сокращения выбросов ПГ.
2. Электрификация конечного спроса повышает значение низкоуглеродной генерации, развития сетей, резервирования и использования накопителей.
3. Нет одной технологии генерации, позволяющей решить задачу: российские сценарии глубокого сокращения выбросов опираются на сочетание атомной, гидро- и возобновляемой генерации; в ряде сценариев газ сохраняет функции балансирования и теплоснабжения.
4. Внешняя климатическая политика воздействует на российскую экономику независимо от наличия внутренней цены углерода: изменения спроса, экспортных цен и доступа к рынкам и может оказывать большее влияние, чем умеренное внутреннее ограничение выбросов.
5. Учет ЗИЗЛХ способен изменить траекторию движения к углеродной нейтральности на сотни МтСО₂э, поэтому валовые выбросы и поглощение должны рассматриваться раздельно.

4.7.2 Источники различий между результатами сценарных расчетов

Наблюдаемое широкое расхождение сценарных результатов имеет несколько слагаемых: различия сценарных допущений, различия модельных механизмов и решаемых на их основе задач, различия в исходных данных (в т. ч. за счет пересмотров кадастра), разный охват секторов и источников выбросов, разные метрики и определения. Технические расхождения определений – CO₂ и все ПГ, валовые и чистые выбросы, включение ЗИЗЛХ, базовые годы и единицы – не являются содержательными сценарными различиями, но способны создать ложный диапазон неопределенности при механическом сопоставлении результатов.

Первый источник расхождений – разные представления о внешнем мире. Внешние условия являются одним из крупнейших источников неопределенности для российских траекторий. Различия мирового спроса на нефть, газ и уголь, экспортных цен, климатической политики торговых партнеров и доступа к рынкам приводят к существенно различным результатам добычи и внешней торговли даже при сходных внутренних технологиях. РЭА, ИНЭИ РАН, IEA, Всемирный банк и NGFS описывают эти условия по-разному, поэтому разброс российских результатов нельзя интерпретировать без сопоставления глобального сценария. Сценарий РЭА «Чистый ноль» предполагает гораздо более глубокое сокращение мирового спроса на ископаемое топливо, чем сценарии ИНЭИ РАН. IEA STEPS допускает сохранение значительных объемов российского газа, но при ухудшении рыночной доли и доходов. Всемирный банк и Банк России моделируют отдельные ценовые и торговые шоки. Поэтому разница в российской добыче топлива является прежде всего следствием изменения мировой климатической и геополитики, доступности рынков и инфраструктуры, а уже затем – внутренней технологии. Низкая добыча газа в «Чистом нуле» РЭА по сравнению с «Ключом» ИНЭИ прежде всего связана с разной глобальной траекторией спроса и технологическим выбором; различие ВВП между WAM и MAM – с объемом климатических инвестиций и способом их финансирования; разница между вариантами CBAM и ETS+CBAM в модели Банка России – с добавлением внутреннего ограничения выбросов. Такая декомпозиция особенно важна для доли ВИЭ. Высокая доля может быть следствием низкой предполагаемой стоимости, ограниченного строительства АЭС, жесткой климатической цели или более высокой электрификации. Без разделения этих факторов сравнение долей не дает ответа, какая технология «предпочтительнее» для России. Геоэкономическая фрагментация усиливает эту неопределенность, поскольку одновременно меняет торговые потоки, стоимость технологий, доступ к финансированию и скорость технологического обучения. IMF и NGFS рассматривают фрагментацию как отдельное сценарное состояние, а не как один дополнительный тариф или экспортное ограничение. Для России это означает, что внешний риск может воздействовать одновременно через спрос, цены и предложение технологий.

Технологическая неопределенность является функцией диапазона оценок будущей удельной стоимости оборудования, темпов строительства, сроков службы, коэффициентов использования мощности и системных затрат для интеграции технологий. Особенно чувствительны к этим предпосылкам доли переменных ВИЭ, атомной генерации, водорода, CCS, накопителей и сетевой инфраструктуры. Стоимость капитала является самостоятельной частью технологической неопределенности. IAM-COMPACT показывает, что изменение средневзвешенной стоимости капитала (WACC) в одной и той же модельной архитектуре меняет инвестиционную привлекательность технологий и траекторию декарбонизации. В других исследованиях финансовые предпосылки раскрыты менее подробно, что ограничивает возможность отделить технологическую неопределенность от финансовой.

Второй источник расхождений – различная климатическая цель. Current Trends и инерционные сценарии не нацелены на достижение углеродной нейтральности. Нормативные сценарии могут «решать» заданное ограничение посредством высоких цен углерода, ускоренного ввода технологий или масштабирования поглощений в ЗИЗЛХ. Если конечная цель различна, сравнение стоимости без нормирования на объемы сокращения выбросов малоинформативно. Сценарии с одинаковой климатической целью могут выбирать разные технологические комбинации даже при сходных оценках конечного спроса. Близкие конечные значения не означают сходства механизмов. *Целевой* сценарий Консорциума 5 и 4D ЦЭНЭФ-XXI дают сопоставимые чистые выбросы в 2060 г., но достигают их при противоположной динамике ЗИЗЛХ и различной нагрузке на энергетику и промышленность. Аналогично, инвестиционные оценки несопоставимы без проверки состава расходов и способа финансирования.

Третий источник расхождений – различная оценка роли ЗИЗЛХ. Разница между оценками Консорциума 5, ИНП РАН и ЦЭНЭФ-XXI меняет не только нетто-выбросы, но и распределение сокращения между ЗИЗЛХ, энергетикой, промышленностью, транспортом и зданиями. В опубликованных материалах предпосылки расчетов по ЗИЗЛХ практически не раскрыты на фоне подробного описания параметров энергетических технологий, что увеличивает неопределенность сопоставления. Неопределенность ЗИЗЛХ имеет особенно сильное влияние на чистые выбросы, поскольку поглощение в некоторых российских траекториях превышает масштабы сокращений валовых выбросов. Консорциум 5 и ЦЭНЭФ-XXI демонстрируют противоположные долгосрочные направления изменения лесного стока. Для интерпретации результатов сценарных расчетов необходимы как минимум три разграничения: валовые или чистые выбросы; учет или исключение ЗИЗЛХ; модельное предположение о будущем поглощении и фактический кадастровый ряд. Без этого изменение чистых выбросов может ошибочно трактоваться как результат декарбонизации энергетики, хотя значительная часть эффекта относится к поглощающей способности экосистем.

Четвертый источник расхождений — различия в свойствах моделей. Гармонизация социально-экономических предпосылок не устраняет межмодельный разброс – это вывод как из анализа сравнения сценарных оценок при гармонизации допущений для России (Башмаков, ред., 2014), так и анализа PARIS REINFORCE. После согласования допущений о динамике численности населения, ВВП, политики и части технологических параметров сохраняются различия, связанные с архитектурой моделей, набором технологий, эластичностями спроса и замещения, ограничениями по ресурсам и представлениями о поведении экономических агентов. Чтобы не связывать выводы с единственной моделью, NGFS использует несколько интегрированных оценочных моделей (IAM). MIT дополняет экономический сценарий ансамблем климатической реакции, выделяя неопределенность уже после формирования выбросов (PARIS REINFORCE, 2022; MIT CS3, 2025; NGFS, 2025). На вопрос: ансамбль или консорциум? Башмаков (2025) отвечает: консорциум исключает конкуренцию в науке – главный двигатель ее прогресса – и отдает явное предпочтение использованию ансамбля моделей, разработанных разными научными группами. Этот подход позволяет разделить, по меньшей мере, три компонента: расхождения исходных предпосылок, расхождения модельных механизмов и остаточные различия исходных данных и определений. Такое разложение не устраняет неопределенность, но позволяет понять, какая часть разброса связана с будущим мира, а какая — с устройством модели.

Пятый источник расхождений — различия в полноте раскрытия результатов сценарных расчетов (табл. 4.6). Наиболее системные пробелы относятся к российским рядам международных моделей, сопоставимым углеродным ценам, занятости и распределительным эффектам, макроэкономическим последствиям энергетических сценариев, методике ЗИЗЛХ и

учету стоимости капитала. Эти пробелы ограничивают число выводов, которые можно считать устойчивыми к выбору источника.

Таблица 4.6 Основные пробелы в опубликованных данных и их последствия для сопоставления

Пробел	Где проявляется	Ограничение для анализа	Следствие для интерпретации
Российские ряды международных моделей	JRC, MIT, NGFS, IEA	Россия не по всем показателям выделена отдельно; часть рядов относится к более крупным регионам	Международный диапазон по России менее симметричен, чем глобальное сопоставление
Углеродные цены	CGE- и IAM-исследования	Различаются статус цены, охват выбросов, база, валюта и доступные технологии	Нельзя формировать единый прогноз цены углерода без нормализации модельной постановки
Макроэкономика энергетических сценариев	РЭА, ИНЭИ РАН, IEA и другие энергетические модели	Детальные физические траектории не всегда сопровождаются оценками изменения ВВП, потребления и благосостояния	Сложно отделить технологическую стоимость перехода от общеэкономических последствий
Занятость и распределительные эффекты	Большинство источников	Показатели публикуются редко и с разной детализацией. Только у Консорциума 5 и ЦЭНЭФ-XXI есть оценки влияния на занятость и только у ЦЭНЭФ-XXI есть модель DEFEND для оценки распределительных эффектов	Социальные последствия представлены существенно слабее энергетических и эмиссионных
Методика ЗИЗЛХ	ИНП РАН, ВЭБ.РФ, ЦЭНЭФ-XXI и другие	Предпосылки и способы оценки долгосрочной эволюции нетто-стоков в ЗИЗЛХ не раскрыты	Траектория достижения углеродной нейтральности может быть чувствительнее к мерам в ЗИЗЛХ, чем к отдельным энергетическим мерам
Финансирование и стоимость капитала	CONTO, IAM-COMPACT и другие модели	Не всегда ясно, вытесняют ли климатические инвестиции другие вложения и какая средневзвешенная стоимость капитала (WACC) используется	Инвестиционные оценки зависят от финансового механизма и не сопоставимы только по объему затрат

Источник: обобщение авторами рассмотренных публикаций. Пробел означает ограничение раскрытия данных, а не оценку качества соответствующей модели.

Одинаковая технологическая предпосылка может приводить к разным макроэкономическим результатам в зависимости от различий в модельной архитектуре. CGE-модель с высокой эластичностью замещения между энергией и добавленной стоимостью может достигать заданного сокращения при меньшей углеродной цене, чем модель с жесткими технологическими коэффициентами. Энергетическая оптимизация детально выбирает набор мощностей, но не всегда отражает последствия для потребления и благосостояния. Межотраслевая модель подробно описывает производственные связи и структуру инвестиций, а результат зависит от способа задания финансирования и импортной составляющей. Опираясь на агрегированными на стоимостной основе технологиями, она не позволяет выходить на уровень описания технологических процессов. Имитационные модели (*bottom-up*) детально описывают технологии и цепочки создания стоимости, но не учитывают всех межотраслевых взаимодействий.

4.7.3 Ключевые развилки на траекториях декарбонизации

К ключевым развилкам на определенных в сценарных расчетах траекториях декарбонизации можно отнести следующие:

- *Forest First* или *Forest Last*: увеличение поглощения как основной механизм либо раннее сокращение валовых выбросов во всех секторах.
- Временной баланс между повышением энергоэффективности или декарбонизацией предложения энергии: снижение потребности в мощности либо быстрое наращивание низкоуглеродной генерации.

- АЭС – газовые ТЭС: АЭС-ВИЭ-газовые ТЭС, или технологически нейтральная смешанная электроэнергетика, построенная с учетом различий системных затрат, сроков строительства и технологической зависимости.
- Ускоренная электрификация или сохранение прямого использования топлива в промышленности, транспорте и теплоснабжении.
- Водород и CCS как массовые решения либо как ограниченные опции для трудноустраняемых выбросов.
- Адаптация экспортной модели к сокращению углеводородного спроса либо опережающая диверсификация выпуска и экспорта.
- Внутренняя углеродная политика как инструмент структурной трансформации либо преимущественно реакция на внешнее регулирование.
- Координированный глобальный переход либо фрагментированная трансформация с более дорогими технологиями и ограниченной торговлей.

Каждая развилка должна интерпретироваться по совокупности показателей. Например, более высокая доля ВИЭ может сочетаться с более высокими затратами энергосистемы в целом; более высокая доля атомной генерации — с длительным инвестиционным циклом; опора на ЗИЗЛХ — с большей чувствительностью результата к методике учета и предпосылкам о поглощении.

4.8 Подходы к оценке реализуемости сценариев

Несмотря на признание необходимости оценки реализуемости оцененных на моделях траекторий декарбонизации (Башмаков, 1987; Wiens, 2015; Brutschin et al., 2021; Riahi et al., 2021; IPCC, 2022; Bashmakov, 2024a; Hollnaicher, 2025; König et al., 2025), предлагаемые для этого методические подходы немногочисленны, чрезмерно схематичны (IPCC, 2022) и носят слишком общий характер (Hollnaicher, 2025). Результаты расчетов зависят как от особенностей самих моделей, так и от принятых допущений, в отношении которых порой звучит критика об их недостаточной прозрачности (Hollnaicher, 2025; Robertson, 2025).

Bashmakov (2025a) выделяет «пределы изменений» как ключевой параметр траекторий декарбонизации. Brutschin et al. (2021, стр. 2) определяют реализуемость как «степень, в которой сценарии находятся в пределах возможностей общества осуществить изменения в течение заданного периода». Траектория реализуема, если мы предпринимаем серьезные усилия и мобилизуем все имеющиеся ресурсы, используя приемлемые способы (Wiens, 2015), но избегая неприемлемых побочных эффектов (Hollnaicher, 2025). Существуют «жесткие» и «мягкие» ограничения (Hollnaicher, 2025; König et al., 2025). Первые обусловлены законами природы и определяют технологические ограничения. Вторые связаны с деятельностью человека, общественным устройством, институциональной средой и политическими ландшафтами, рассматриваются как мягкие (König et al., 2025), хотя на практике они могут быть довольно жесткими (Bashmakov, 2025a; 2026).

Для комплексной оценки реализуемости полученных на моделях траекторий декарбонизации предлагаются новые междисциплинарные аналитические подходы: (3D × 5P + 7M, три модели принятия решений; пять опор политики декарбонизации; семь матриц для построения прогнозов и проверки их реализуемости. Башмаков, 2026) и 5W1H (Where? (регион), What? (процессы и/или продукты), When? (временной горизонт), Who? (институты и

экспертиза), How? (технологии) и Why? (König et al., 2025). Это не жесткие протоколы, а гибкие аналитические инструменты.

Прогнозные траектории могут быть эффективно реализуемыми, если они учитывают все три базовые схемы принятия инвестиционных и управленческих решений: удовлетворенность, оптимизация и трансформация системы. В рамках подхода Башмакова (2026) ограничением стандартных моделей общего равновесия считается то, что они в основном описывают оптимизационную схему принятия решений и слабее отражают две другие схемы.

Удовлетворенность (satisficing) представляет собой модель «неоптимального поведения» или «ограниченной рациональности». «Иррациональность» может рассматриваться как форма рациональности, если учитывать издержки, связанные с расчетами, обдумыванием, сбором и накоплением информации (Li, 2022). При низкой доле затрат (например, на энергию), чтобы избежать *thinking costs* (издержек обдумывания или принятия решений), люди опираются на устоявшиеся стереотипы, а не ведут себя как неоклассические экономические агенты, которые стремятся использовать любую возможность для снижения издержек или максимизации благосостояния. В этой схеме роль ценовых факторов в принятии решений ограничена. Модели общего равновесия не учитывают эти издержки принятия решений (полагая затраты времени и средств на сбор информации – нулевыми, скорость обдумывания – бесконечной и, следовательно, время на размышления – ничтожным) и поведение, обусловленное стереотипами. По этой причине они не учитывают наличие отрицательных издержек сокращения выбросов ПГ, а также необходимость мер политики, направленной на использование потенциала с отрицательными издержками сокращения выбросов.

Оптимизация – это область применения неоклассических теорий, в рамках которых рыночные агенты стремятся оптимизировать собственные выгоды. Эта модель поведения используется рыночными агентами с относительно высокой долей затрат на энергию или другие ресурсы в доходах. В данной модели ценовые и рыночные стимулы занимают центральное место, а цена на углерод является основным инструментом регулирования выбросов ПГ. При анализе реализуемости результатов использования оптимизационных моделей необходимо учитывать шесть важных аспектов. Во-первых, в ряде оптимизационных постановок используется централизованный критерий благосостояния, который не отражает всю неоднородность фактических лиц, принимающих решения. Во-вторых, он не учитывает принцип дифференцированной ответственности, разницу в возможностях и необходимость удовлетворения базовых потребностей (Hollnaicher, 2025). В-третьих, реальные лица, принимающие решения, не являются экономическими агентами, рожденными с совершенным знанием всех рынков и технологий (Zenghelis et al., 2025). В-четвертых, технологические коэффициенты, темпы технологического обучения, а также эластичности по доходу и цене не являются постоянными, а носят асимметричный характер (Bashmakov et al., 2024a; Carlino et al., 2025). В-пятых, модели концентрируются на затратах на декарбонизацию, но не учитывают вклад декарбонизации в совокупную факторную производительность (Zenghelis et al., 2025). И в-шестых, затраты и выгоды неравномерно распределяются во времени и между неравными подгруппами репрезентативных агентов. Восприятие справедливого распределения затрат на декарбонизацию с учетом неоднородности агентов и учет распределительных эффектов становятся ключевыми факторами при оценке реализуемости траекторий.

Трансформация системы предполагает перестройку технологической базы и экономической структуры с целью создания новых ресурсов, позволяющих системе выйти за «пределы роста» или «пределы изменений» при решении критически важных стратегических задач. Трансформация позволяет преодолеть инерцию и тупики старой системы. Это не

1 оптимизационная задача, поскольку на начальном этапе⁶⁷⁸⁹ могут быть неизвестны ни
2 перспективные ключевые технологии, которые предстоит внедрить, ни их стоимостные
3 параметры, особенно если учитывать цепные эффекты (снижение затрат – расширение
4 внедрения – дальнейшее снижение затрат), а также последствия изменения «пространства
5 проектирования» новых продуктов и услуг. Данная модель принятия решений опирается на
6 инновации и структурные изменения, создание крупных рынков новых продуктов и
7 формирование новых технологических производственных цепочек на основе **видений**
8 будущего и стратегических инвестиций.

9 **Политика декарбонизации может быть эффективной, только если ее архитектура**
10 **опирается на пять опор: технологии; регулирование, стратегии и программы; стимулы**
11 **и финансирование; институты, а также человеческий капитал.** Одним из недостатков
12 моделей считается их чрезмерная концентрация на экономических и технологических
13 параметрах при недостаточном внимании к социокультурным и институциональным аспектам
14 (**Hollnaicher, 2025**). Для решения этой проблемы **Brutschin et al. (2021)** предложили
15 концептуальную основу, отражающую пять измерений реализуемости траекторий:
16 геофизическое, экономическое, технологическое, социокультурное и институциональное.
17 МГЭИК (**IPCC, 2022**) добавила к этому перечню еще одно измерение, и в итоге получилось
18 шесть измерений для оценки реализуемости мер политики по смягчению изменения климата:
19 геофизическое (доступность ресурсов); экологическое (ограничение дополнительного
20 загрязнения); технологическое (готовность технологий и возможности их масштабирования);
21 экономическое (затраты и занятость); социокультурное (общественное принятие, модели
22 поведения); институциональное (политическое принятие, институциональный, правовой и
23 административный потенциал). Что касается социокультурных аспектов реализуемости, их
24 анализ переносится в третий компонент предложенной **Башмаковым (2026)** методологии 3D ×
25 5P + 7M. 5P – пять опор – включают:

- 26 • **Технологии** — наличие и стоимость широкого спектра технологий и оборудования для
27 сокращения выбросов ПГ во всех секторах. Необходимы меры политики для устранения
28 трех разрывов: в уровне готовности технологий, в предложении технологий и в
29 локализации технологий.
- 30 • **Регулирование, стратегии и программы** — обязательства и обязательные требования,
31 закрепленные в соответствующих нормативных актах и инструментах политики и
32 позволяющие достичь целевых показателей, обозначенных в национальных стратегиях
33 и программах.
- 34 • **Стимулы и финансирование** — меры, направленные на стимулирование применения
35 как уже экономически жизнеспособных, так и новых решений, на активизацию
36 рационального принятия решений и сокращение пространства для поведения по модели

⁶ Суждение о вероятности реализации сценария в (**Башмаков ред., 2014**) выносилось на основе анализа возможности обеспечить уровни добычи топлива доказанными запасами, цен на энергоносители, изменения положения России на мировых рынках топлива.

⁷ ЦЭНЭФ, ИНП РАН; ИНЭИ РАН, РАНХиГС; Институт экономической политики им. Е.Т. Гайдара; Центр экономических и финансовых исследований и разработок Российской экономической школы; Массачусетский технологический институт; а также использовались прогнозные оценки МЭА.

⁸ Догоним Америку к 2050 году. Стратегии и конкурентоспособность. №3. 2006.

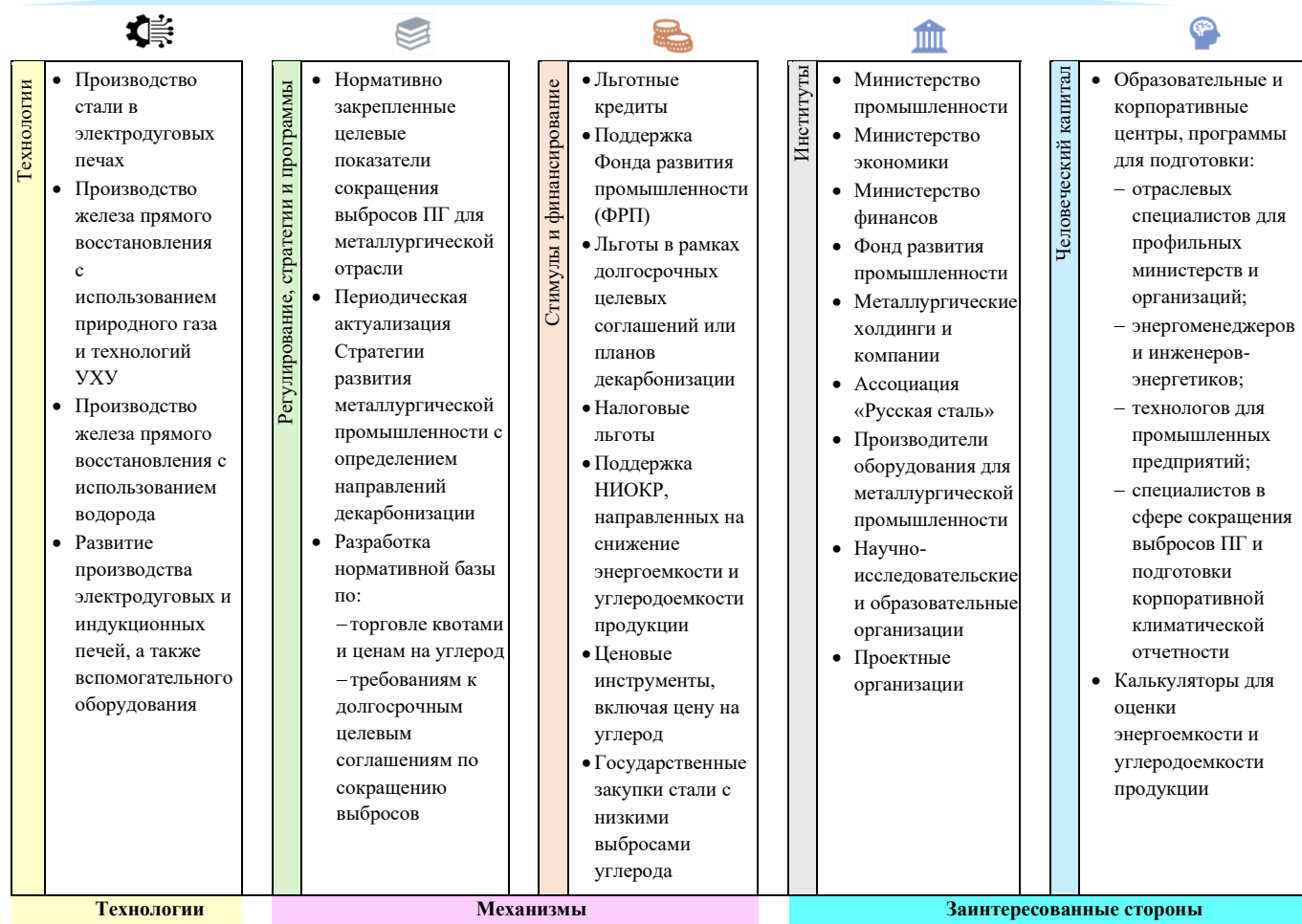
⁹ «Вопреки распространенной рекомендации начинать с малозатратных вариантов сокращения выбросов и постепенно наращивать усилия и издержки с течением времени, учет динамики перехода показывает, что наиболее экономически эффективная стратегия может, напротив, заключаться в финансировании ключевых технологий, обладающих значительным потенциалом и перспективами снижения стоимости» (**Grubb et al., 2023, p. 722**).

удовлетворенности за счет повышения заметности и экономической привлекательности существующих решений и улучшения доступа к финансированию, а также содействия масштабированию новых технологий и создания рыночных ниш для появляющихся технологий. Масштаб стимулов и доступного финансирования должен соответствовать нормативным требованиям и установленным целевым показателям.

- **Институты** — организации, уполномоченные инициировать и координировать процессы декарбонизации и несущие ответственность за их результаты, а также другие институты, представляющие интересы всех участников низкоуглеродного перехода.
- **Человеческий капитал** — достаточное количество специалистов с соответствующей подготовкой, участвующих в разработке политики, организации и реализации низкоуглеродного перехода; обеспечение этих специалистов знаниями, информацией и инструментами для принятия решений.

Наличие пяти опор определяет лишь необходимые условия. Достаточные условия включают прочность этих опор (то есть способность нести декарбонизационную нагрузку) и их сбалансированность для реализации отдельных низкоуглеродных траекторий. Применение подхода с пятью опорами к декарбонизации российской черной металлургии проиллюстрировано на **рис. 4.13**. Как правило, модельные оценки ограничиваются оценкой состава, параметров и масштабов применения технологий, включая их стоимостные характеристики. Однако для практической реализации модельных траекторий необходимы также стимулы для наращивания масштабов их проникновения, нормативная база, определяющая цели и запускающая административные и рыночные механизмы, институты, разрабатывающие нормативную базу, управляющие процессами и реализующие конкретные меры, и наконец, подготовленные кадры. Отсутствие хотя бы одной опоры или ее низкая несущая способность блокирует весь процесс и делает модельную траекторию нереализуемой. В работе (**Башмаков и др., 2023х**) по схеме **рис. 4.х** описаны необходимые условия для декарбонизации многих секторов и видов продукции. Работ, посвященных системному анализу необходимых и достаточных условий декарбонизации, для России очень мало. Можно выделить только работы ЦЭНЭФ-XXI по формированию подробных дорожных карт декарбонизации всех секторов (**Башмаков и др., 2023б, Bashmakov, 2024**) и по анализу трех технологических разрывов (технологический разрыв, разрыв предложения и разрыв локализации) во всех секторах (**Башмаков и др., 2023а**).

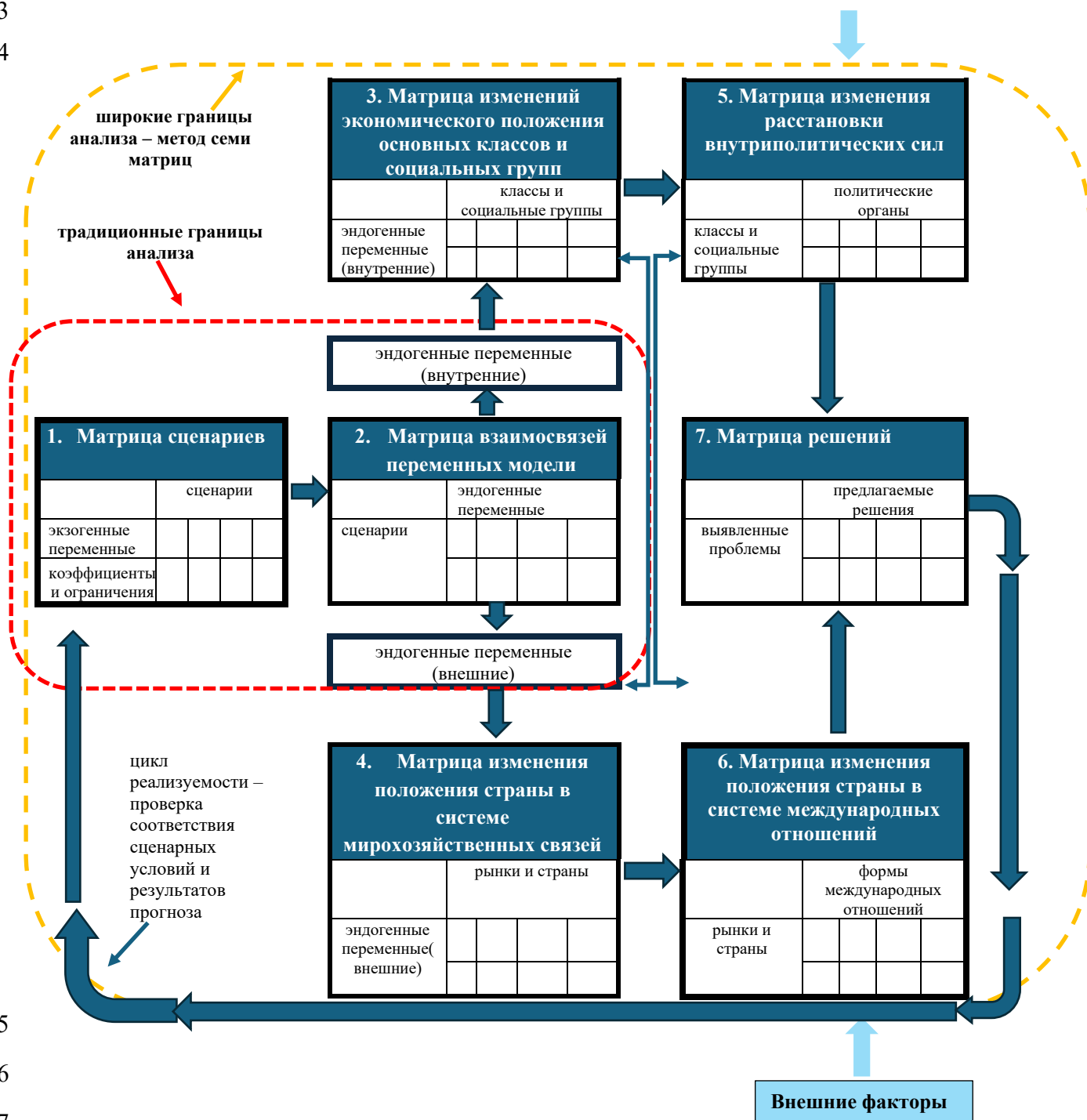
Черная металлургия



Источник: Башмаков и др., 2023b; Bashmakov, 2024a.

Большой проблемой при оценке реализуемости прогнозных траекторий декарбонизации является отсутствие оценок их возможного влияния на экономических агентов и на способность этих агентов формально или неформально консолидироваться, используя различные институты, чтобы продвигать эту политику или, напротив, противостоять ей. Такой анализ требует специального методологического подхода. Один из возможных подходов – метод семи матриц – был предложен автором еще в 1987 году (Башмаков, 1987). Этот метод также создает основу для оценки реализуемости климатической политики (Башмаков, 2026). Концепция основана на семи матрицах. Выходные данные каждой матрицы служат входными параметрами для других матриц (рис. 4.14). Сопоставляя входные данные матрицы 1 с выходными параметрами матрицы 7, можно замкнуть цикл, проверив согласованность между допущениями модели и матрицей решений, на основе которой делается вывод о реализуемости выбранного сценария. Почти 40 лет спустя была предложена «петля реализуемости» (*Feasibility Loop*) – итеративный процесс оценки, позволяющий расширить охват аспектов, учитываемых при оценке реализуемости модельных сценариев (König et al., 2025).

Рисунок 4.14 Метод семи матриц. Цикл оценки реализуемости



Источник: Башмаков (1987, 2023а).

Матрица сценариев. Матрица сценариев отражает допущения о воздействии природных и технологических, а также экономических и социополитических факторов на эволюцию экзогенных переменных модели или на параметры ее уравнений. Переход от качественных сюжетных описаний к количественным экзогенным переменным представляет собой сложную задачу. Все допущения можно разделить на сценарные и на так называемые фоновые. Первые,

как правило, раскрываются в описаниях сценариев, а последние зачастую скрыты в описании моделей (если они доступны), которые лишь немногие специалисты готовы изучать. Сценарные допущения обычно касаются технологий, затрат и мер политики по продвижению первых и снижению вторых. Результаты модельных расчетов зачастую демонстрируют широкий спектр возможных траекторий, но как правило, игнорируют вопросы справедливости, различия в схемах принятия решений, социальную и политическую среду. Эти факторы могут выступать как катализаторами, так и барьерами для принятия и реализации решений, сужая и изменяя конфигурацию «коридоров реализуемости» и определяя предельную скорость возможного продвижения по ним. Поэтому оценка реализуемости сценариев выходит на первый план.

Матрица взаимосвязей переменных модели. *Матрица взаимосвязей между переменными модели* – это и есть сама модель. Она задает набор экзогенных переменных и параметров уравнений и используется для определения будущей динамики эндогенных переменных. Для большинства людей модели остаются «черными ящиками». Скрытые фоновые допущения во многом определяют поведение моделей. Чем масштабнее модель, тем она менее прозрачна. Даже при наличии ее подробного описания неспециалист в области моделирования может оказаться практически неспособен разобраться в деталях. Поэтому при принятии решений для большей уверенности часто используются ансамбли моделей. Итогом расчетов на модели является распределенный во времени вектор эндогенных переменных. На этом традиционный анализ обычно и заканчивается. Однако полученные результаты будут иметь небольшую ценность, так как если исследователи не рассматривают влияние динамики этих эндогенных переменных на экономические и социальные интересы различных групп экономических агентов, то им будет непросто оценить вероятность реализации того или иного сценария.

Матрица изменений экономического положения основных классов и социальных групп. Распределенный во времени вектор экзогенных переменных можно разделить на две части: внутреннюю (для данной страны или региона) и внешнюю. Проецируя изменения в эндогенных внутренних переменных (вертикальная ось матрицы 3 на рис. 4.5) на социально-классовую структуру общества (горизонтальная ось), можно разработать *матрицу изменений экономического положения основных классов и социальных групп*. Эта матрица имеет три измерения: внутренние экзогенные переменные × основные классы и социальные группы × время. Она отражает эффекты от изменений отдельных эндогенных переменных на экономическое положение различных экономических агентов. Социальная стратификация любого общества – это весьма нетривиальная задача, имеющая более одного решения. Для ее решения можно использовать различные критерии: класс, уровень жизни, наличие ресурсов, включая доступ к власти, и т. д. Исследования по теме справедливого энергоперехода и распределительных эффектов от мер по декарбонизации в последнее время приобрели особую актуальность. В России же таких исследований еще очень мало (Башмаков, 2023; Bashmakov, 2024).

Матрица изменения положения страны в системе мирохозяйственных связей. Как правило, макроэкономические модели включают переменные, отражающие внешнеэкономические связи страны. Если спроецировать динамику этих переменных на региональную структуру мировых рынков, можно разработать матрицу изменения положения страны в системе мирохозяйственных связей. В качестве примеров для иллюстрации логики построения такой матрицы можно взять российский экспорт нефти и газа, доминирование Китая на рынках низкоуглеродных технологий или СВМ ЕС (механизм трансграничного углеродного регулирования). Формирование такой матрицы возможно только в тесном сотрудничестве со специалистами по внешним экономическим отношениям.

Матрица изменения расстановки внутриполитических сил. Изменения экономического положения различных классов и социальных групп (вертикальная ось матрицы 5 на рис. 4.5) и обострение социально-экономических противоречий приводят к изменениям в институтах и расстановке внутриполитических групп (горизонтальная ось матрицы). Важно понимать, как будут изменяться формальные и неформальные институты, поскольку именно эти изменения будут определять способность экономических агентов защищать свои интересы. Для решения этой задачи необходимо взаимодействие с социологами и политологами.

Матрица изменения положения страны в системе международных отношений. Изменение климата и многополярная конкуренция за лидерство в сфере «зеленого» развития обуславливают устойчивый и масштабный перенос богатства от поставщиков ископаемого топлива к разработчикам и поставщикам низкоуглеродных технологий. Возможные изменения положения страны в системе глобальных экономических отношений и внутриполитического баланса предполагают соответствующие изменения в ее положении в международной экономической системе. Изменения в расстановке внутриполитических сил побуждают правящую элиту искать способы усилить позитивные тенденции в международных отношениях и нейтрализовать негативные. Для достижения политических целей могут использоваться как дипломатические, так и экономические инструменты. Экспортные пошлины Трампа могут служить примером использования экономических инструментов. Потенциальные последствия для внешней политики учитываются в *матрице изменения положения страны в системе экономических отношений*. Ее вертикальная ось отражает наиболее важные рынки, классифицированные по странам, регионам, группам стран (G7 и G20), международным организациям (ООН, ОЭСР, БРИКС) и международным банкам развития, а горизонтальная ось представляет формы взаимодействия: экономическую, технологическую, идеологическую, политическую, дипломатическую и военную. Элементы матрицы отражают реализуемость и прогнозируемую эффективность конкретных внешнеэкономических или внешнеполитических действий. При этом, конечно, учитываются принадлежность контрагента к определенной социально-экономической системе, членство в политических и военных альянсах, обязательства в рамках двусторонних соглашений, политические, этнические, религиозные и прочие противоречия, а также участие в конфликтах. Задача стратегического прогнозирования – заполнение этой матрицы и демонстрация того, как может изменяться распределение сил в международной системе – прежде всего лежит на специалистах в области международных отношений. Репутационные факторы также влияют на участие в новых коалициях или климатических группах, которые первоначально могут быть добровольными, но со временем становятся более формальными и амбициозными (Sending et al., 2020).

Матрица решений. Предыдущие этапы анализа выявляют проблемы, которые при отсутствии решений могут серьезно повлиять на реализуемость моделируемых траекторий – либо вследствие отсутствия готовности ставить амбициозные цели по декарбонизации, либо вследствие недостаточной способности достигать этих целей, используя все три модели принятия решений, а также создавая и укрепляя пять опор, необходимых для устранения разрывов на пути к достижению поставленных целей. На этом этапе ставится задача выявить наиболее вероятный набор решений посредством разработки седьмой матрицы – *матрицы решений*, в которой каждой основной проблеме (вертикальная ось матрицы), порожденной конкретным противоречием или совокупностью противоречий, ставится в соответствие способ ее решения, включая научное, техническое, экономическое, идеологическое, политическое, дипломатическое или военное сотрудничество, конкуренцию либо конфронтацию (горизонтальная ось). При этом важно не только принимать решения, но и эффективно их реализовывать (обеспечивать надлежащее управление).

Общественный диалог о справедливом энергетическом переходе, включающий оценку воздействия климатической политики на различные отрасли и группы населения с разным уровнем доходов, по-прежнему остается ограниченным. König et al. (2025) относят социально-политические факторы к «мягким ограничениям». Однако социальная и политическая инерция может быть даже сильнее инерции, связанной с обновлением накопленного капитала посредством внедрения новых технологий. Таким образом, «пределы изменений» и коридоры реализуемости в большой степени определяются социальной и политической инерцией, а также высокими *thinking costs*, которые удерживают многих лиц, принимающих решения, в рамках стратегии удовлетворенности и тем самым формируют мягкие ограничения.

Заполнение этой матрицы требует тесной междисциплинарной интеграции специалистов по моделированию и экспертов в области распределения доходов, внешних рынков и международных отношений, а также социологов и политологов. Такая интеграция необходима для оценки реализуемости вариантов сокращения выбросов в существующих и ожидаемых социально-политических условиях и понимания, каким образом эти условия должны измениться, чтобы создать пространство для более глубокой декарбонизации.

Замыкание цикла. Заключительный этап прогнозного анализа заключается в сопоставлении исходных гипотез и допущений относительно развития технических, экономических, социальных и политических факторов, на которых были построены сценарии, с выводами, полученными в результате создания матрицы решений. Если исходные предпосылки и конечные результаты в значительной степени согласуются, сценарий обладает большей внутренней согласованностью. Если они противоречат друг другу, это указывает на ограничение его реализуемости, но само по себе не задает статистическую вероятность реализации. Такой анализ также побуждает специалистов по моделированию более подробно описывать принятые допущения, уделяя внимание не только демографическим, техническим и экономическим факторам, но и социально-политическим условиям – аспектам, которые в настоящее время либо рассматриваются очень поверхностно, либо вообще не отражаются в описаниях сценариев. Таким образом, заключительный этап замыкает цикл анализа.

Выявлению и обоснованию пороговых значений важных индикаторов следует уделять особое внимание. Примером такого замыкания может быть анализ соответствия прогнозных значений индикаторов пороговым значениям. Допустим, что были приняты допущения о высоких темпах экономического роста, но по результатам расчетов получается, что за счет введения высокой цены на углерод или по причине истощения дешевых запасов топлива цены на энергоносители растут и доля расходов на энергию в доходах всех потребителей энергии или для отдельных секторов заступает за пороговые значения (Bashmakov and Myshak, 2018; Bashmakov et al., 2024). Такой заступ приводит к снижению темпов роста (Bashmakov, 2017). Чем больше заступ, тем значительнее снижение (Bashmakov, 2007; 2025). Значит, допущение о высоких темпах роста противоречит полученному результату, и реализация такого сценария становится маловероятной. Не случайно в последних работах МЭА (IEA, 2025; 2026) индикатору доли расходов на энергию стало уделяться особое внимание. Помимо влияния на темпы роста, это еще показатель справедливости энергоперехода. В системе моделей прогнозирования, используемой ЦЭНЭФ-XXI, доля расходов на энергию оценивается для всех секторов (Башмаков и др., 2022). Реализация сценариев, в которых доля расходов на энергию устойчиво падает до низких пороговых значений, также маловероятна. В этом случае темпы снижения энергоемкости заметно снижаются, а темпы экономической активности немного увеличиваются, что в итоге ведет к формированию новых циклов в динамике цен на энергию (Башмаков, 2016). Пример с долей расходов на энергию показывает, что «коридоры реализуемости» заметно уже широких конусов неопределенности, которые получаются при сценарном анализе, в котором нет замыкания аналитического цикла.

1 **Формирование комплексной многосторонней экспертной группы, объединяющей**
2 **специалистов из разных научных сфер, и разработка эффективных алгоритмов для**
3 **формализации совместного применения ими метода $3D \times 5P + 7M$ представляют собой**
4 **серьезную задачу.** Связанные с этим *thinking costs* значительно выше, чем при традиционном
5 сценарном анализе на основе моделей. Однако такой подход позволяет гораздо надежнее
6 определять коридоры реализуемости, в пределах которых можно направлять усилия по
7 декарбонизации к достижению установленных целей. Он также позволяет значительно
8 укрепить общественный консенсус, одновременно сокращая как неэффективное расходование
9 дефицитных государственных ресурсов, выделяемых на реализацию политики, так и
10 недоверие к действиям правительства в области изменения климата, которые сегодня нередко
11 воспринимаются как непоследовательные, неэффективные и несправедливые.

12 **Повышение уровня доверия имеет огромное значение для стимулирования активной**
13 **общественной и политической вовлеченности, а также формирования устойчивых**
14 **альянсов в поддержку политики декарбонизации.** Ожидается, что, в отличие от других
15 типов трансформации, декарбонизация будет осуществляться преимущественно государствен-
16 ными органами, формирующими политику (Zenghelis et al., 2025). При том что в настоящее
17 время три четверти населения обеспокоены изменением климата, большинство по-прежнему
18 скептически оценивает решения, предлагаемые политическими институтами, хотя эти
19 институты являются главными субъектами реализации климатической политики (Edelman
20 Trust Institute, 2023). Изменения климатических целей и политики могут вызывать недоумение
21 и снижать доверие людей к общественным институтам. Исследование «пределов изменений»
22 с помощью подхода $3D \times 5P + 7M$ позволяет точнее сформулировать риски, полнее информи-
23 ровать лиц, принимающих решения, и тем самым укрепить доверие как к научной основе
24 декарбонизации, так и к государственным институтам, – доверие, которое необходимо для
25 преодоления всех разрывов в реализации политики декарбонизации.

26 **4.9 Неопределенности и пробелы в знаниях**

27 В сфере долгосрочного прогнозирования выбросов ПГ в России существуют явные пробелы в
28 знаниях. Оценки ключевой для семейства сценариев *Forest First* долгосрочной динамики
29 объема нетто-стоков в секторе ЗИЗЛХ не имеют под собой надежной методической базы.

30 Дополнительные исследования требуются для повышения надежности оценок возможностей
31 декарбонизации промышленных процессов; сектора сельского хозяйства; сектора отходов.

32 Особое внимание следует уделять выявлению наличия и обоснованию пороговых значений
33 важных индикаторов, таких как доля инвестиций в декарбонизацию в ВВП или доля расходов
34 на энергию в доходах.

35 Практически нет исследований, фокусирующихся на изменении спроса потребителей с
36 использованием логики *sufficiency*. Стратегии изменения поведения потребителей могут иметь
37 большое значение при поиске путей декарбонизации сельского хозяйства (изменения диеты),
38 транспорта (выбор между общественным и персональным транспортом и выбор в пользу
39 немоторизированных средств транспорта), в секторе зданий (удаленная работа, достаточность
40 обеспеченности жилой площадью) и в других секторах.

41 Сценарный анализ требует регулярной проверки предпосылок по ограниченному набору
42 ключевых индикаторов: мировому спросу и ценам на российские энергоресурсы, стоимости и
43 срокам строительства технологий, стоимости капитала, фактическим темпам ввода и выбытия
44 мощности, энергоемкости, динамике ЗИЗЛХ, низкоуглеродным инвестициям и ограничениям
45 торговли и технологического импорта.

1 Не менее важна ретроспективная проверка ранее разработанных сценариев: какие
2 предпосылки реализовались и с чем связаны отклонения фактической траектории от
3 сценарной. В литературе таких работ очень мало, но они есть. Пример – сравнение сценарных
4 оценок прогноза развития мировой энергетики до 2020 г., опубликованного в 1992 г., с
5 фактическими значениями и оценка корректности сформулированных 25 «уроков будущего»
6 (Башмаков, 2022). Выше было показано, что пересмотр прогнозных оценок в значительной
7 степени был сопряжен с отставанием фактического развития экономики от принятых
8 допущений. Важно использовать более широкие диапазоны допущений о перспективах
9 развития экономики и внешнеэкономических параметров для повышения надежности
10 сценарных оценок перспективной динамики выбросов ПГ.

11 Для анализа сложной низкоуглеродной трансформации целесообразно реализовать проект с
12 использованием ансамбля моделей с общими исходными данными и согласованными
13 сценарными предпосылками. Опыт первой такой попытки в России (Башмаков, ред., 2014) и
14 опыт PARIS REINFORCE и NGFS показывают, что такой подход помогает отделять устой-
15 чивые результаты от результатов, зависящих от конкретной модели. Для России ансамбль мог
16 бы сочетать инженерную детализацию энергетических моделей, макроэкономические связи
17 CGE и межотраслевых систем и институциональную детализацию дорожных карт. Особенно
18 важно единообразно фиксировать границы выбросов и ЗИЗЛХ, базовые годы, ценовую базу,
19 метрики оценки затрат и влияния мер по декарбонизации на экономический рост.

20 **Список использованных источников**

- 21 Башмаков И.А. О реализации и анализе результатов макроэкономических прогнозов (метод
22 семи матриц) // Система обработки макроэкономической информации. – М.: Наука, 1987.
23 – С. 117–132.
- 24 Башмаков И.А. Ред. 1992. Энергетика мира: уроки будущего / Под ред. Башмакова И.А. – М.:
25 МТЭА, ИНЭИ РАН, 1992. 468 с.
- 26 Башмаков И.А. 2009. Низкоуглеродная Россия: 2050 год. – М: ЦЭНЭФ, 2009. 197 с.
- 27 Башмаков И.А. Ред. 2014. Затраты и выгоды низкоуглеродной экономики и трансформации
28 общества в России. Перспективы до и после 2050 г. М. 2014. ЦЭНЭФ. 208 стр.
- 29 Башмаков И.А. и А.Д. Мышак. 2014. Сравнение прогнозов выбросов парниковых газов в
30 секторе «энергетика» России на 2010-2060 гг. Проблемы прогнозирования. Выпуск 1.
31 2014 г. С. 48-62.
- 32 Башмаков И.А. 2016. «Экономика постоянных» и длинные циклы динамики цен на энергию //
33 Вопросы экономики. – 2016. № 7. – С. 1-28.
- 34 Башмаков И.А. 2022а. Углеродное регулирование в ЕС и российский сырьевой экспорт //
35 Вопросы экономики. – 2022. № 1. – С. 1-20.
- 36 Башмаков И.А. 2022б. Прогнозы развития энергетики мира 30 лет спустя: проверка прошлым
37 уроков будущего // Вопросы экономики. – 2022. № 5. – С. 1-28.
- 38 Башмаков И.А. 2022в. Россия на траекториях движения к углеродной нейтральности: три
39 четверки и одна двойка // Нефтегазовая вертикаль. – №11, 2022. – С. 62-75.
- 40 Башмаков И.А. 2023а. Внешняя торговля, экономический рост и декарбонизация в России.
41 Долгосрочные перспективы // Нефтегазовая вертикаль. – №№ 11-12, 2023.

- 1 Башмаков И.А. 2023б. Сценарии движения России к углеродной нейтральности // Энергосбережение. – 2023. №1. – С. 10-19.
- 2
- 3 Башмаков И.А. 2023в. Сценарии движения России к углеродной нейтральности. Энергосбережение, №1/2023). Сценарии движения России к углеродной нейтральности,
- 4
- 5 Башмаков И.А. 2023г. Распределительные эффекты от мер по декарбонизации экономики России. ЦЭНЭФ-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/raspredelitelnye-effekty-ot-mer-po-dekarbonizacii-ekonomiki-rossii>
- 6
- 7
- 8 Башмаков И.А. Анализ оценок перспектив декарбонизации российской экономики аналитическими центрами // Современная мировая экономика. 2025. Т. 3. № 3(11). С. 26–56. <https://doi.org/10.17323/2949-5776-2025-3-3-26-56>
- 9
- 10
- 11 Башмаков И.А. 2026. Пределы изменений: методологический подход к оценке реализуемости декарбонизации. Современная мировая экономика. В печати.
- 12
- 13 Башмаков, И., Башмаков, В., Борисов, К., Дзедзичек, М., Лунин А., И. Говор. 2022. Углеродная нейтральность в России: ухабистые траектории до 2060 года. https://cenef-xxi.ru/uploads/Glava_1_Osnovnye_vyvody_546b9118d5.pdf; Russia's carbon neutrality: pathways to 2060 https://cenef-xxi.ru/uploads/Report_CENEF_XXI_0076074542.pdf
- 14
- 15
- 16
- 17 Башмаков И., В. Башмаков, К. Борисов, М. Дзедзичек, О. Лебедев, А. Лунин, А. Мышак. 2023а. Низкоуглеродные технологии в России. Нынешний статус и перспективы [Низкоуглеродные технологии в России. Нынешний статус и перспективы](#)
- 18
- 19
- 20 Башмаков И.А., В.И. Башмаков, К.Б. Борисов, М.Г. Дзедзичек, А.А. Лунин, О.В. Лебедев и А.Д. Мышак. 2023б. Движение России к углеродной нейтральности: развилки на дорожных картах. [Russia on the pathways to carbon neutrality: forks on roadmaps](#)
- 21
- 22
- 23 Башмаков И. А., Борисов К. Б., Дзедзичек М.Г., Лунин А.А., Лебедев О.В., Скобелев Д. О., Гусева Т. В. 2026. Бенчмаркинг энергоэффективности и углеродоемкости производства энергии на тепловых электростанциях в Российской Федерации. Москва: Изд-во «Перо», 2026. – 356 с. ISBN 978-5-00270-925-0 <https://cenef-xxi.ru/articles/benchmarking-energoeffektivnosti-i-uglerodoemkosti-proizvodstva-energii-na-tes-v-rossijskoj-federacii-kniga-cep-i-cenef-xxi>
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29 ВЭБ.РФ. Достижение Российской Федерацией «углеродной нейтральности» не позднее 2060 года. М., 2023. <https://www.inveb.ru/green-economy>
- 30
- 31 Дребенцов В., Новиков С., Турдыева Н. Transformation of the Electricity Sector in a General Equilibrium Model for Russia: An Assessment of the Russian Energy Agency's Scenarios. Рукопись / готовящийся препринт, 2026.
- 32
- 33
- 34 ВЭБ.РФ. 2023. Достижение Российской Федерацией «углеродной нейтральности» не позднее 2060 года. Январь 2023.
- 35
- 36 Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года. 2024. [Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года](#) (принята распоряжением
- 37
- 38 Правительства РФ от 30 декабря 2024 года № 4153-р).
- 39 Давыдова А.Ю., Макаров И.А., Смоловик Е.В. 2025. Последствия введения пограничного углеродного регулирования Китаем для российской экономики // Экономический журнал ВШЭ. 2025. Т. 29, № 3. С. 462–493.
- 40
- 41
- 42 Замолотчиков Д.Г., Грабовский В.И., Коровин Г.Н., Гитарский М.Л., Блинов В.Г., Дмитриев В.В., Курц В.А. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации в 1990-
- 43

- 1 2050 гг.: ретроспективная оценка и прогноз // Метеорология и гидрология. 2013. № 10.
2 С. 73-92.
- 3 ИНП РАН. 2007. Долгосрочный прогноз экономического развития России в 2007-2030 гг. (по
4 сценариям). М. Май 2007.
- 5 ИНП РАН. Экономика климата: создание методики разработки сценариев и моделей оценки
6 социально-экономических эффектов реализации климатической повестки и политики
7 низкоуглеродного развития: итоговый отчет. М., 2024. <https://ecfor.ru/rskm-konsortsium-ekonomika-klimata/>
8
- 9 ИНЭИ РАН. Прогноз развития энергетики мира и России 2024 / под ред. А. А. Макарова, В. А.
10 Кулагина, Д. А. Грушевенко, А. А. Галкиной. М., 2024. [https://www.eriras.ru/files/prognoz-](https://www.eriras.ru/files/prognoz-2024.pdf)
11 [2024.pdf](https://www.eriras.ru/files/prognoz-2024.pdf).
- 12 Консорциум 5. 2024. Отчет по ВИП ГЗ. «Экономика климата». 2024 г. *Создание методики*
13 *разработки сценариев и моделей оценки социально-экономических эффектов реализации*
14 *климатической повестки и политики низкоуглеродного развития, включая меры по*
15 *декарбонизации экономики и энергетики на уровне стран и регионов мира, а также*
16 *экономики и энергетики Российской Федерации, обоснованы меры адаптации населения*
17 *и экономики Российской Федерации к изменениям климата федерального уровня.*
- 18 Концепция развития рынка газомоторного топлива в Российской Федерации на период до 2035
19 года, утверждена распоряжением правительства РФ от 29.08.2025, № 2366-р.
- 20 Макаров А.А. 2008. Возможности сдерживания эмиссии парниковых газов в энергетике
21 России. Академия энергетики. № 5, 2008. С. 26-33.
- 22 Макаров И.А., Чен Х., Пальцев С.В. 2018. Последствия Парижского климатического
23 соглашения для экономики России. Вопросы экономики. 2018;(4):76-94.
24 <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2018-4-76-94>
- 25 Минтранс, 2024. Доклад о реализации Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030
26 года с прогнозом на период до 2035 года. Отчетный период: 2023 год.
- 27 НДК. 2026.
- 28 Проект Транспортной стратегии Российской Федерации до 2036 года с прогнозом на период
29 до 2050 года. 2026.
- 30 Распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р «Об
31 утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года».
- 32 Распоряжение Правительства Российской Федерации от 5 августа 2021 г. № 2162-р «Об
33 утверждении Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации».
- 34 Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23 августа 2021 г. № 2290-р «Об
35 утверждении Концепции по развитию производства и использования электрического
36 автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года».
- 37 Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р «Об
38 утверждении Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с
39 низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года».
- 40 Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р «Об
41 утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на
42 период до 2035 года».

- 1 РЭА Минэнерго России. Сценарии развития мировой энергетики до 2050 г. М., 2024.
2 [https://rosenergo.gov.ru/press-center/news/stsenarii-razvitiya-mirovoy-energetiki-do-2050-](https://rosenergo.gov.ru/press-center/news/stsenarii-razvitiya-mirovoy-energetiki-do-2050-goda/)
3 [goda/](https://rosenergo.gov.ru/press-center/news/stsenarii-razvitiya-mirovoy-energetiki-do-2050-goda/).
- 4 Синяк Ю.В. 2008. Сценарии долгосрочного развития ТЭК России и прогнозы выбросов CO₂.
5 Возможная стратегия России по сокращению накопления CO₂ в атмосфере. Материалы
6 семинара «Экономические проблемы энергетического комплекса». 27.03.2007. Институт
7 народнохозяйственного прогнозирования РАН. М. 2008. С. 6-45.
- 8 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035
9 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября
10 2021 г. № 3363-р
- 11 Трофименко Ю., Комков В., Шашина Е., Деянов Д., Гайда И. и др. 2022. Научно обоснованный
12 прогноз адаптации сектора автомобильного транспорта к вероятным последствиям
13 изменения климата и возможные сценарии его декарбонизации в Российской Федерации.
14 М.: Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО, 2022. 134 с. URL:
15 [https://sk.skolkovo.ru/storage/file_storage/b013d3a4-d719-43e1-a27b-](https://sk.skolkovo.ru/storage/file_storage/b013d3a4-d719-43e1-a27b-1732879abe9a/SKOLKOVO_EneC_RU_Transport.pdf?_gl=1*byfa2y*_ga*MTg0MjY2Mzc2MS4xNjg5NzU0Mjcx*_ga_ZV5K)
16 [1732879abe9a/SKOLKOVO_EneC_RU_Transport.pdf?_gl=1*byfa2y*_ga*MTg0MjY2Mzc2](https://sk.skolkovo.ru/storage/file_storage/b013d3a4-d719-43e1-a27b-1732879abe9a/SKOLKOVO_EneC_RU_Transport.pdf?_gl=1*byfa2y*_ga*MTg0MjY2Mzc2MS4xNjg5NzU0Mjcx*_ga_ZV5K)
17 [MS4xNjg5NzU0Mjcx*_ga_ZV5K](https://sk.skolkovo.ru/storage/file_storage/b013d3a4-d719-43e1-a27b-1732879abe9a/SKOLKOVO_EneC_RU_Transport.pdf?_gl=1*byfa2y*_ga*MTg0MjY2Mzc2MS4xNjg5NzU0Mjcx*_ga_ZV5K)
- 18 Трофименко Ю. В. и В. И. Комков. 2023. Актуализированный прогноз численности, структуры
19 автомобильного парка России по типу энергоустановок и выбросов парниковых газов до
20 2050 года // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного
21 университета. – 2023. – Т. 20, № 3(91). – С. 350-361. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-3-
22 350-361.
- 23 Указ Президента Российской Федерации от 4 ноября 2020 г. № 666 «О сокращении выбросов
24 парниковых газов».
- 25 Указ Президента Российской Федерации от 26 октября 2023 г. № 812 «Об утверждении
26 Климатической доктрины Российской Федерации».
- 27 Широков А.А. и А.Ю. Колпаков. 2023. Целевой сценарий социально-экономического развития
28 России с низким уровнем нетто-выбросов парниковых газов до 2060 года // Проблемы
29 прогнозирования. 2023. № 6 (201). С. 53-66. DOI: 10.47711/0868-6351-201-53-66
- 30 Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года. 2025.
31 <https://minenergo.gov.ru/ministry/energy-strategy?docs-group=file-330334>
- 32 Bashmakov I., A. Makarov. 1990. The Soviet Union. Chapter in carbon emissions control strategies.
33 W.U. Chandler Editor. WWF and The Conservation Foundation. Wash., USA. 1990. pp.35-54.
- 34 Bashmakov I., Makarov A. 1991. An energy development strategy for the USSR: Minimizing
35 greenhouse gas emissions. Energy Policy. Volume 19, Issue 10, December 1991, pp. 987-994.
- 36 Bashmakov I. 1993. Costs and benefits of CO₂ emission reduction in Russia: presentation at a
37 Workshop Costs, Impacts, and Benefits of CO₂ Mitigation on 28-30 September 1992. IIASA //
38 Kaya Y., Nakichenovich N., Nordhouse W., Toth F. editors. – Laxenburg, 1993. P. 453-474.
- 39 Bashmakov, I. 2006. Russian energy and carbon emissions coming from 2005 to 2050. Developing
40 visions for a Low Carbon Society (LCS) through sustainable development. Workshop summary.
41 June 13-16. 2006. MitaKaigisho, Tokyo. Japan. Pp. 59-60.
- 42 Bashmakov I. 2017. The first law of energy transitions and carbon pricing. International Journal of
43 Energy, Environment, and Economics, Vol. 25, No. 1, pp. 1–42.

- 1 Bashmakov Igor A. 2024a. Russia on the pathways to carbon neutrality: forks on roadmaps. Mitig
2 Adapt Strateg Glob Change (2024) 29:70 <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10164-y>
- 3 Bashmakov IA. 2024b. Distributional Effects of Expected Climate Mitigation Policies in Russia. Mod
4 Econ Manag, 2024; 3: 5. DOI: 10.53964/mem.2024005.
- 5 Bashmakov I. 2025. Three laws of energy transitions and economic growth. Energy Efficiency (2025)
6 18:7. <https://doi.org/10.1007/s12053-024-10293-y>
- 7 Bashmakov I. 2026. How “green” is electricity generation in Russia and why can it gradually go
8 “red”? Mitig Adapt Strateg Glob Change (2026) 31:55 [https://doi.org/10.1007/s11027-026-](https://doi.org/10.1007/s11027-026-10317-1)
9 [10317-1](https://doi.org/10.1007/s11027-026-10317-1); <https://rdcu.be/fh3Tc>
- 10 Bashmakov I. A. and A. Myshak. 2018. “Minus 1” and Energy Costs Constants: Sectorial
11 Implications. Journal of Energy. Volume 2018, Article ID 8962437.
12 <https://doi.org/10.1155/2018/8962437>
- 13 Bashmakov Igor, Vladmir Bashmakov, Maxim Dzedzichuk, Anna Myshak. 2022. Sanctions and
14 CBAM: Implications for the Russian industry. [https://cenef-xxi.ru/articles/sanctions-and-cbam:-](https://cenef-xxi.ru/articles/sanctions-and-cbam:-implications-for-the-russian-industry)
15 [implications-for-the-russian-industry](https://cenef-xxi.ru/articles/sanctions-and-cbam:-implications-for-the-russian-industry)
- 16 Bashmakov I., Grubb M., Drummond P., Lowe R., Myshak A., Hinder B. 2024. “Minus 1” and energy
17 costs constants: Empirical evidence, theory and policy implications // Structural Change and
18 Economic Dynamics. Volume 71, December 2024, pp. 95-115.
19 <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2024.06.010>
- 20 Brutschin, E., S. Pianta, M. Tavoni, K. Riahi, V. Bosetti, G. Marangoni, and B. van Ruijven. 2021.
21 A Multidimensional Feasibility Evaluation of Low-Carbon Scenarios. Environmental Research
22 Letters 16 (6): 064069. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf0ce>.
23 [https://2050pathways.org/wp-content/uploads/2025/11/Beyond-Targets-Demystifying-Long-](https://2050pathways.org/wp-content/uploads/2025/11/Beyond-Targets-Demystifying-Long-Term-Climate-Strategies.pdf)
24 [Term-Climate-Strategies.pdf](https://2050pathways.org/wp-content/uploads/2025/11/Beyond-Targets-Demystifying-Long-Term-Climate-Strategies.pdf)
- 25 Büchs M., N. Cass, C. Mullen, K. Lucas and D. Ivanova. 2023. Emissions savings from equitable
26 energy demand reduction. Nature energy. Published online: 17 July 2023.
27 <https://doi.org/10.1038/s41560-023-01283-y>
- 28 Carlino A., A. Wongel, L. Duan, E. Virgüez, S.J. Davis, M.R. Edwards, K. Caldeira. 2025. Variability
29 of technology learning rates. Advances in Applied Energy 20 (2025) 100252
30 <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2025.100252>
- 31 Edelman Trust Institute. 2023. 2023 Edelman Trust Barometer Special Report: Trust and Climate
32 Change [https://www.edelman.com/sites/g/files/aatuss191/files/2023-](https://www.edelman.com/sites/g/files/aatuss191/files/2023-11/2023%20Edelman%20Trust%20Barometer%20Special%20Report%20Trust%20and%20Climate.pdf)
33 [11/2023%20Edelman%20Trust%20Barometer%20Special%20Report%20Trust%20and%20Cli](https://www.edelman.com/sites/g/files/aatuss191/files/2023-11/2023%20Edelman%20Trust%20Barometer%20Special%20Report%20Trust%20and%20Climate.pdf)
34 [mate.pdf](https://www.edelman.com/sites/g/files/aatuss191/files/2023-11/2023%20Edelman%20Trust%20Barometer%20Special%20Report%20Trust%20and%20Climate.pdf)
- 35 EIA. Annual Energy Outlook 2026. U.S. Energy Information Administration, 2026.
36 <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>.
- 37 Frilingou N., Nikas A. et al. Cost of Capital Evolution Effects on Regional Mitigation Pathways:
38 Financing Renewable Investments in Low- and Middle-Income Countries. IAM-COMPACT
39 Policy Brief, 2025. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15054168>.
- 40 Gardes-Landolfini C., Grippa P., Oman W., Yu S. Energy Transition and Geoeconomic
41 Fragmentation: Implications for Climate Scenario Design. IMF Staff Climate Note 2023/003.
42 Washington, DC: IMF, 2023. [https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/Staff-Climate-](https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/Staff-Climate-Notes/2023/English/CLNEA2023003.ashx)
43 [Notes/2023/English/CLNEA2023003.ashx](https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/Staff-Climate-Notes/2023/English/CLNEA2023003.ashx).

- 1 Goldman Sachs. 2003. Dreaming with BRICs: the path to 2050. Goldman Sachs economy paper. No.
2 99, October 2003.
- 3 Grubb, M., Poncia, A., Drummond, P., Hourcade, J.C., Neuhoﬀ, K., 2023. Policy complementarity
4 and the paradox of carbon pricing. Oxford Review of Economic Policy, Vol.39:4.
- 5 Hausfather Z. 2026. Explainer: The CMIP7 emissions scenarios – and how they explore future climate
6 change - Carbon Brief.
- 7 Hayez L. et al. NGFS Long-term Scenarios, Narratives and Key Findings: Net Zero 2050, Current
8 Policies and Fragmented World. NGFS, 2025. [https://www.ngfs.net/en/publications-and-](https://www.ngfs.net/en/publications-and-statistics/publications/explanatory-notes-ngfs-long-term-climate-scenarios)
9 [statistics/publications/explanatory-notes-ngfs-long-term-climate-scenarios](https://www.ngfs.net/en/publications-and-statistics/publications/explanatory-notes-ngfs-long-term-climate-scenarios).
- 10 Hollnaicher S. 2025. Assessing Feasibility with Value-laden Models. Discussing the Normativity of
11 Integrated Assessment Models. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-70714-2>
- 12 IAM Compact. 2025. Cost of capital evolution eﬀects on regional mitigation pathways: Financing
13 renewable investments in low- and middle-income countries.
- 14 IEA. World Energy Outlook 2025. Paris: International Energy Agency, 2025.
15 <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025>.
- 16 IEA. 2026. Household Energy Aﬀordability. Data and Indicators. A methodological framework for
17 national monitoring.
- 18 IPCC, 2022: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change.
19 Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental
20 Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D.
21 McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S.
22 Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
23 doi: 10.1017/9781009157926.001.
- 24 Keramidas K. et al. 2026. Global Energy and Climate Outlook 2025: Market Competitiveness of Clean
25 Energy Technologies. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2026. JRC.
26 <https://doi.org/10.2760/6843693>.
- 27 König R., T. Pregger, S. Kronshage, P. Jochem, B. McCall, G. Holtz, S. Sudharma, Vishwanathan,
28 P. Fragkos, F. Teng, S.J. Smith, S. Teske. 2025. How to consider feasibility aspects of
29 transformation pathways for the industry sector – implications for energy systems modelling.
30 Energy Strategy Reviews 62 (2025) 101901. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101901>
- 31 Kononov Yu. D. 1993. Reconfiguration of the Russian economy and energy in response to
32 environmental problems: presentation at a Workshop Costs, Impacts, and Benefits of CO2
33 Mitigation on 28-30 September 1992. IIASA // Kaya Y., Nakichenovich N., Nordhouse W., Toth
34 F. editors. – Laxenburg, 1993. P. 453-474.
- 35 Laitner J., Lugovoy O., Potashnikov V. Cost and Benefits of Deep Decarbonization in Russia.
36 Ekonomicheskaya Politika, 2020. No. 2, pp. 86-105. [https://doi.org/10.18288/1994-5124-2020-](https://doi.org/10.18288/1994-5124-2020-2-86-105)
37 [2-86-105](https://doi.org/10.18288/1994-5124-2020-2-86-105)
- 38 Li, B. 2022. How Various “Irrationalities” Proven to be Rational. Academia Letters, Article 4579.
39 <https://doi.org/10.20935/AL4579>.
- 40 Makarov I. et al. Russia and Global Green Transition: Risks and Opportunities. World Bank and HSE
41 University, 2021. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/36757>.

- 1 MIT Center for Sustainability Science and Strategy. 2025 Global Change Outlook: Assessing Risks
2 to Human Well-being and Pathways to a More Sustainable Future. MIT, 2025.
3 <https://cs3.mit.edu/publications/signature/2025-global-change-outlook>
- 4 PARIS REINFORCE. D7.6 Report on the Reference and Policy Scenario Modelling Results. 2022.
5 [https://www.paris-reinforce.eu/sites/default/files/2022-12/D7.6%20-](https://www.paris-reinforce.eu/sites/default/files/2022-12/D7.6%20-%20Report%20on%20the%20reference%20and%20policy%20scenario%20modelling%20results_v1.00_SUBMITTED.pdf)
6 [%20Report%20on%20the%20reference%20and%20policy%20scenario%20modelling%20resul](https://www.paris-reinforce.eu/sites/default/files/2022-12/D7.6%20-%20Report%20on%20the%20reference%20and%20policy%20scenario%20modelling%20results_v1.00_SUBMITTED.pdf)
7 [ts_v1.00_SUBMITTED.pdf](https://www.paris-reinforce.eu/sites/default/files/2022-12/D7.6%20-%20Report%20on%20the%20reference%20and%20policy%20scenario%20modelling%20results_v1.00_SUBMITTED.pdf).
- 8 Riahi, K., C. Bertram, D. Huppmann, J. Rogelj, V. Bosetti, A.-M. Cabardos, A. Deppermann, et al.
9 2021. Cost and Attainability of Meeting Stringent Climate Targets Without Overshoot. *Nature*
10 *Climate Change* 11 (12): 1063–69. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01215-2>
- 11 Robertson S. 2025 Blurred boundaries at the Intergovernmental Panel on Climate Change: the role of
12 integrated assessment models in the science–society contract. *R. Soc. Open Sci.* 12: 250286.
13 <https://doi.org/10.1098/rsos.250286>
- 14 Safonov G., V. Potashnikov, O. Lugovoy, M. Safonov, A. Dorina, A. Bolotov. 2020. The low carbon
15 development options for Russia. *Climatic Change*. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02780-9>
16 *Springer Nature B.V.* 2020;
- 17 Sending O.J., I. Øverland, and T. B. Hornburg. 2020. Climate change has moved from the margins to
18 the center of international politics. *Journal of international affairs* 73, No. 1. January 2020
19 [https://cssn.org/wp-content/uploads/2020/11/2020-ClimatechangeandIRafive-](https://cssn.org/wp-content/uploads/2020/11/2020-ClimatechangeandIRafive-prongedapproach.pdf)
20 [prongedapproach.pdf](https://cssn.org/wp-content/uploads/2020/11/2020-ClimatechangeandIRafive-prongedapproach.pdf)
- 21 Shirov A. A. et al. Stakeholder-driven Scenario Analysis of Ambitious Decarbonisation of the Russian
22 Economy // *Renewable and Sustainable Energy Transition*. 2023. Vol. 4. 100055.
23 <https://doi.org/10.1016/j.rset.2023.100055>
- 24 Tolios G., Fragkos P. Transition Pathways for Russia. NDC-ASPECTS Country Report D5.2. 2024.
25 [https://ndc-aspects.eu/sites/default/files/2024-11/D5.2%20-](https://ndc-aspects.eu/sites/default/files/2024-11/D5.2%20-%20Russia%20country%20fiche.pdf)
26 [%20Russia%20country%20fiche.pdf](https://ndc-aspects.eu/sites/default/files/2024-11/D5.2%20-%20Russia%20country%20fiche.pdf)
- 27 Turdyeva N. Russian Economic Transformation: Navigating Climate Policy and Trade Restrictions.
28 Bank of Russia Working Paper Series No. 125. 2024. https://cbr.ru/eng/ec_research/ser/wp_125/
- 29 Trofimenko, Y., Komkov, V., Donchenko, V. Problems and prospects of sustainable low carbon
30 development of transport in Russia. 2018. IOP Conference Series: Earth and Environmental
31 Science, 177(2018), 012014.
- 32 Trofimenko Y., V. Komkov and K. Trofimenko. 2020a. Forecast of energy consumption and
33 greenhouse gas emissions by road transport in Russia up to 2050. *Transportation Research*
34 *Procedia*, 14th International Conference on Organization and Traffic Safety Management Large
35 Cities, 2020, pp. 698-707.
- 36 Trofimenko Y.V., Komkov V.I., Donchenko V.V. 2020b. Methods and results of forecasting number
37 and structure of motor fleet in the Russian Federation by types of engine and fuel used for
38 calculation of greenhouse gases emission till 2050 / *International Journal of Emerging Trends in*
39 *Engineering Research*. 2020. T. 8. № 6. C. 2707-2711.
- 40 Trofimenko Y.V. and Komkov V.I. 2021. Forecast of decarbonization of road transport in Russia until
41 2050 in the context of digitalization and expansion of the use of unmanned vehicles / In: 2021
42 *Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex*,
43 *TIRVED 2021 - Conference Proceedings*. 2021.

- 1 van de Ven D.-J. et al. A Multimodel Analysis of Post-Glasgow Climate Targets and Feasibility
2 Challenges // Nature Climate Change. 2023. Vol. 13. P. 570–578.
3 <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01661-0>. Data: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7767193>
- 4 Van Vuuren, D. P., O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Sanderson, B. M., Chini, L. P., Friedlingstein, P.,
5 Hasegawa, T., Riahi, K., Govindasamy, B., Bauer, N., Eyring, V., Fall, C. M. N., Frieler, K.,
6 Gidden, M. J., Gohar, L. K., Högner, A., Jones, A. D., Kikstra, J., King, A., Knutti, R., Kriegler,
7 E., Lawrence, P., Lennard, C., Lowe, J., Mathison, C., Mehmood, S., Nicholls, Z., Prado, L. F.,
8 Zhang, Q., Rose, S. K., Ruane, A. C., Sandstad, M., Schleussner, C.-F., Seferian, R., Sillmann,
9 J., Smith, C., Sörensson, A. A., Panickal, S., Tachiiri, K., Vaughan, N., Vishwanathan, S. S.,
10 Yokohata, T., Zecchetto, M., and Ziehn, T.: 2026. The Scenario Model Intercomparison Project
11 for CMIP7 (ScenarioMIP-CMIP7), Geosci. Model Dev., 19, 2627–2656,
12 <https://doi.org/10.5194/gmd-19-2627-2026>, 2026.
- 13 Wiens, D. 2015. Political Ideals and the Feasibility Frontier. Economics and Philosophy 31 (3): 447–
14 77. <https://doi.org/10.1017/S0266267115000164>
- 15 Zenghelis D., H. Pollitt, J.-F. Mercure and F.W. Geels, 2025. Understanding and modelling structural
16 economic change as a dynamic resource creation process—an application to low-carbon
17 transitions. Oxford Review of Economic Policy, 2025, 0, 1–25
18 <https://doi.org/10.1093/oxrep/graf036>