
Моделирование сценариев декарбонизации и адаптации: роль в принятии политических и экономических решений



Май 2021

АВТОР



Екатерина Грушевенко

Старший аналитик по нефтегазовому сектору,

Центр энергетики Московской школы управления
СКОЛКОВО

Автор благодарит за ценную помощь в сборе и анализе данных, верификации логики исследования и за консультативную поддержку следующих экспертов:

д.г.н. Олег Анисимов

Руководитель Отдела исследований изменений климата ФГБУ
Государственный гидрологический институт

к.э.н. Андрей Колпаков

Старший научный сотрудник ИНП РАН

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕЗЮМЕ	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
Почему сейчас стало востребовано моделирование сценариев декарбонизации и адаптации?.....	5
Для кого нужны эти сценарии?	6
Для чего нужны модельные комплекты и сценарии декарбонизации и адаптации?	7
ПОХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СЦЕНАРИЕВ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ И АДАПТАЦИИ.....	9
Макроэкономические модели сверху-вниз.....	10
Инженерные модели снизу-вверх.....	11
Недостатки подходов сверху-вниз и снизу-вверх.....	13
Связывание моделей.....	14
Интегрированные модели оценки.....	16
ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ И ИНСТРУМЕНТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЕС ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЛИТИКИ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ И МИТИГАЦИИ В ЕС.....	20
PESETA IV – сценарии адаптации и последствия изменения климата.....	23
Методология.....	23
Климатическое моделирование в PESETA IV	24
Обзор моделей воздействия.....	26
Социально-экономические сценарии	27
Результаты Peseta IV	28
Комплекс моделей для анализа политики декарбонизации и митигации в ЕС	30
Структура модельного комплекса.....	30
Некоторые результаты моделирования сценариев для анализа политики декарбонизации и митигации в ЕС	31
КРАТКИЙ ОБЗОР МОДЕЛЕЙ В РОССИИ	38
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Описание моделей, входящих, в модельный комплекс ЕС.....	47

РЕЗЮМЕ

Регуляторы и бизнес во всем мире постепенно приходят к пониманию важности мер по адаптации и смягчению последствий изменения климата. Поэтому для лиц, принимающих решения - национальных регуляторов, региональных властей и руководителей корпораций - необходим соответствующий инструментарий, обеспечивающий принятие адекватных решений на базе количественных оценок различных сценариев декарбонизации и адаптации. Современные модельные комплексы позволяют не только рассчитывать сценарии изменения климата и их влияние на благосостояние и здоровье людей, развитие экономики в целом и ее отдельных секторов, так и возможности (и стоимость) сценариев декарбонизации для стран, регионов и секторов.

В силу самой постановки задачи, учитывающей не только макроэкономические, демографические и технологические, но еще и климатические факторы, разработка модельных комплексов, способных просчитывать такие сценарии, требует междисциплинарного подхода - от знаний климатологии до глубокого понимания конкретных секторов экономики. В настоящий момент работа над такими комплексами моделей с разной степенью сложности и детализации ведется в ЕС, США, странах АТР и в России. Наиболее развитым сейчас представляется инструментарий, разработанный в Евросоюзе - поэтому в данном исследовании мы не только отвечаем на вопросы кому и для чего нужны такие сценарии, и описываем базовые подходы к моделированию, но и подробно рассматриваем европейский комплекс моделей и основные результаты, которые он обеспечивает на выходе.

Учет этого зарубежного опыта разработки оценок экономических последствий изменения климата и декарбонизации, по нашему мнению, будет полезен и для Российской Федерации. В исследовании приведен краткий обзор уже существующих российских моделей, которые могут быть использованы для создания аналогичной комплексной системы моделирования в стране.

ВВЕДЕНИЕ

Почему сейчас стало востребовано моделирование сценариев декарбонизации и адаптации?

Модельные комплексы позволяют строить долгосрочные сценарии развития мира и отдельных регионов и стран, оценивать влияние вводимых политик и методов регулирования на всех стейкхолдеров и на экономику и общественное благосостояние в целом.

Для противодействия климатической угрозе на глобальном уровне в последние годы предпринимаются экстраординарные меры по сокращению эмиссий парниковых газов. Еще в 2015 г. было принято Парижское соглашение¹, нацеленное на удержание роста средней температуры на уровне не выше 1,5°C, повышение способности адаптации к последствиям изменения климата и переход на низкоуглеродное развитие с конечной целью достижения экономики с нулевым уровнем выбросов к 2050 г. По состоянию на май 2021 г., 189 государств (в том числе Россия) присоединились к соглашению. Все страны-участницы добровольно ставят перед собой цели по сокращению нетто-выбросов CO₂ и других парниковых газов в атмосферу на период до 2030 г², но многие пошли дальше - к настоящему времени уже более 60 ведущих стран мира заявили о стремлении к полной углеродной нейтральности (то есть нулевым выбросам CO₂ в атмосферу) к 2050 г^{3 4}.

Значительная часть стран, присоединившихся к Парижскому соглашению, либо уже запустила систему торговли выбросами CO₂⁵ или другие формы цены на углерод и «углеродных сборов», либо планирует это сделать в ближайшем будущем. Многие из них вводят запрет на использование двигателей внутреннего сгорания⁶, устанавливают целевые доли возобновляемых источников энергии⁷ в национальном энергобалансе или устанавливают долю низкоуглеродных топлив⁸. Таким образом, на государственном уровне постепенно формируются жесткие стимулы для декарбонизации, и этот процесс затрагивает уже всех основных внешнеторговых партнеров России.

Евросоюз в декабре 2019 г. объявил комплексную стратегию развития устойчивой экономики «Зеленый курс»⁹, цель которой — достижение климатической нейтральности (то есть нулевых выбросов всех парниковых газов) к 2050 г. Также

¹PARIS AGREEMENT, UN, 2015 (retrieved

https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)

²UN official site (<https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>)

³ONDC registry (interim) / Official website of the UNFCCC.

(<https://www.unfccc.int/sites/NDCStaging/Pages/All.aspx>)

⁴Submission portal. INDC / Official website of the UNFCCC.

(<https://www.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Submission%20Pages/submissions.aspx>)

⁵IEA (2020), Implementing Effective Emissions Trading Systems, IEA, Paris

<https://www.iea.org/reports/implementing-effective-emissions-trading-systems>

⁶Wappelhorst S., The end of the road? An overview of combustion engine car phase-out announcements across Europe, May 2020, INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION

⁷IEA/IRENA Renewables Policies Database

⁸IEA Policies database

⁹COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. The European Green Deal COM/2019/640 final

поставлена амбициозная промежуточная цель - сокращение выбросов парниковых газов на 55% к 2030 г. по сравнению с 1990 г., что подразумевает долю возобновляемых источников энергии 38-40% в энергетическом балансе и их 65% долю в производстве электроэнергии. При этом к 2030 г. по сравнению с 2015 г. предполагается сокращение энергопотребления на 39-40%, потребления угля - на 70%, а нефти и газа - на 30% и 25% соответственно. Сейчас ЕС последовательно создает комплексное регулирование, которое будет принуждать участников рынка и национальные правительства к выполнению этих сверхамбициозных целей.

Оценка реализуемости и возможных последствий подобного регулирования требует создания гибридных модельных комплексов, которые сочетают в себе моделирование климата, моделирование энергетики и моделирование экономики и инвестиций в развитие тех или иных технологий и направлений.

Данные модельные комплексы позволяют строить различные долгосрочные сценарии развития мира и отдельных регионов и стран, оценивать влияние вводимых политик и методов регулирования на всех стейкхолдеров и на экономику и общественное благосостояние в целом. Помимо этого, построение сценариев позволяет оценить адекватность распределения инвестпотоков.

Для кого нужны эти сценарии?

Модельные комплексы дают количественные оценки спроса на энергию, эмиссии парниковых газов, цен на энергоносители, благосостояния общества, уровня ВВП, требуемых инвестиций в и инфраструктуру, господдержку, а также оценки степени влияния регуляторным мер

В мире инструментарий, обеспечивающий оценку различных сценариев декарбонизации и адаптации, востребован со стороны целого ряда стейкхолдеров. Среди основных можно выделить следующих^{10 11}:

- **Регуляторы и органы исполнительной власти на национальном уровне** - для них важно понимать, как организовывать регулирование внутри страны, а также понимать, какие из мер поддержки или какие меры ограничения помогут добиться поставленных целей в сфере климата и устойчивого развития.
- **Регуляторы на международном уровне** - эта группа стейкхолдеров решает задачи, связанные с переговорами на международном уровне. Например, для России нарастает необходимость в таком инструменте для обоснования переговорной позиции с ЕС в части введения трансграничного углеродного налога (ТУР). При этом, даже не имея подобного

¹⁰ Hare B., Brecha R., Schaeffer M., Integrated Assessment Models: what are they and how do they arrive at their conclusions? Climate Analytics, 2018

¹¹ UN official site (<https://unfccc.int/topics/mitigation/workstreams/response-measures/integrated-assessment-models-iams-and-energy-environment-economy-e3-models>)

модельного комплекса, регулятору необходимо понимать, чем пользуется другая сторона.

- **Финансовый сектор** также является важным стейкхолдером: в зависимости от перспектив того или иного бизнеса будут перераспределяться финансовые потоки. К примеру, крупные инвесторы уже начинают отказываться от инвестиции в угольную и в нефтегазовую отрасли, среди них Суверенный фонд Норвегии и Всемирный банк, и переориентируются на зеленую энергетику и другие активы, менее уязвимые в сценариях декарбонизации.
- **Бизнес-сообщество**, которому необходимо понимать, что ждет его в краткосрочном и долгосрочном периоде, чтобы выстраивать свои бизнес-стратегии. При этом для этого бизнесу необходимы надежные, четкие и понятные сигналы от регуляторов и органов исполнительной власти.
- **НКО и климатические активисты**. Для этой категории стейкхолдеров важна прозрачная и доступная информация о деятельности бизнеса и государственных регуляторов для того, чтобы своевременно акцентировать внимание на том, что еще не сделано с их стороны.
- **Население**. Эта категория стейкхолдеров самая многочисленная и при этом самая разрозненная. Для населения необходимы понятные сигналы и доступная информация о том, что делают остальные стейкхолдеры, и чем это будет полезно и важно для социума – какие блага он получит, поскольку такие масштабные изменения обязательно приведут к дополнительной налоговой или иной финансовой нагрузке на население.

Для всех описанных групп стейкхолдеров модельные комплексы важны тем, что они в своих сценариях развития дают количественные оценки: спроса на энергию, эмиссии парниковых газов, цен на энергоносители, благосостояния общества, уровня ВВП, требуемых инвестиций в инфраструктуру, господдержку, а также оценки степени влияния регуляторным мер

Для чего нужны модельные комплексы и сценарии декарбонизации и адаптации?

Модельные комплексы используются для ответа на вопросы «что, если?» и «как?». Эти вопросы могут быть общими. Например: что, если мир не предпримет никаких действий для митигации изменения климата? Или как мир может достичь целей Парижского соглашения в сценариях 1,5 или 2°C?

В последние 30 лет формируются 2 группы моделей для различных стейкхолдеров.

Первая группа оценивает климатические воздействия и как человечеству к ним приспособиться (сценарии адаптации), а вторая – смотрит как противостоять изменению климата (сценарии митигации/декарбонизации).

Вопросы, которые ставят моделям, также могут быть конкретными. «Что, если страны установят универсальную цену в 100 долларов за тонну выбросов CO₂ к 2030 г.?», «Что делать, если некоторые технологии, такие как атомная энергия или улавливание и хранение углерода (CCS), будут недоступны?»

Связи, встроенные в сложные модельные комплексы, позволяют исследовать каскадные эффекты, сопутствующие выгоды и непредвиденные последствия, отслеживая, как выбор в одной области влияет на остальную часть моделируемого мира.¹²

В последние 30 лет формируются две группы моделей для различных стейкхолдеров, потому что всем им становится необходимым учитывать климатический фактор в своей деятельности. Первая группа оценивает масштаб климатического воздействия и то, как человечеству к ним приспособиться (сценарии адаптации), а вторая – смотрит, как противостоять самому изменению климата (сценарии митигации/ декарбонизации). При этом каждую группу стейкхолдеров волнуют свои вопросы (Таблица 1).

Таблица 1 - Основные стейкхолдеры и примеры вопросов, на которые для них могут отвечать модельные комплексы

Стейкхолдер	Пример вопроса, на который отвечает модельный комплекс
Регуляторы и органы исполнительной власти на национальном уровне	Как декарбонизировать и с какой скоростью декарбонизировать экономику с выгодой для страны? Как выбрать наиболее эффективные меры по адаптации к изменению климата?
Регуляторы на международном уровне	Как мир может достичь целей Парижского соглашения в сценариях 1,5 или 2°C?
Финансовый сектор	Что будет, если полностью ограничить финансирование углеродоемких проектов?
Бизнес-сообщество	Как с выгодой декарбонизировать компанию? Как адаптировать реальные активы к изменению климата?
НКО и климатические активисты	Что, если мир не предпримет никаких действий для митигации изменения климата?
Население	Как меры по декарбонизации и адаптации повлияют на доходы населения? Как изменение климата повлияет на здоровье и условия жизни?

Источник: Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО

¹² <https://www.carbonbrief.org/qa-how-integrated-assessment-models-are-used-to-study-climate-change>

ПОХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СЦЕНАРИЕВ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ И АДАПТАЦИИ

Модели и модельные комплексы, связанные с разработкой сценариев декарбонизации и адаптации, отвечают на два фундаментальных вопроса:

- Как можно попытаться предотвратить изменение климата (сценарии митигации)? Как и с какой скоростью декарбонизировать экономику с выгодой для страны, региона или компании, какие угрозы могут нести в себе неправильные подходы к декарбонизации?
- Что будет, если ничего не делать, как в этом случае изменение климата повлияет на людей, энергетику и экономику, какие угрозы и выгоды это несет и как к этому придется приспособливаться? (сценарии адаптации).

Подходы к моделированию различных систем и секторов экономики достаточно универсальны, однако в силу того, что в России 78,9% выбросов парниковых газов приходится на энергетику¹³, в данном разделе при анализе подходов к моделированию большее внимание уделялось именно изучению модельных инструментариев, ориентированных на топливно-энергетический комплекс (ТЭК).

Обычно модели можно разделить на две большие категории: **сверху-вниз и снизу-вверх**¹⁴. Нисходящие модели обычно используются экономистами и органами государственного управления. Эти модели ориентированы на агрегирование макроэкономических секторов. Они обычно характеризуются упрощенным представлением компонентов и поэтому не подходят для определения отраслевой политики. Их область применения - оценка воздействия энергетической и климатической политики на социально-экономические секторы, такие как социальный рост, общественное благосостояние, занятость и т. д. Подход «сверху вниз» также может учитывать взаимозависимость между секторами или странами.

Восходящий подход заключается в разработке инженерных моделей с подробным описанием технологических аспектов энергетической системы и того, как она может развиваться в будущем, что позволяет определять отраслевую политику. Спрос на энергию обычно задается экзогенно, и модели анализируют, как данный спрос на энергию должен удовлетворяться с минимальными затратами¹⁵. Эти модели

Модели можно разделить на две категории:

сверху-вниз
и снизу-вверх

¹³ Official site YU. A. IZRAEL INSTITUTE OF GLOBAL CLIMATE AND ECOLOGY (<http://www.igce.ru/2020/04/национальный-кадастр-антропогенных/>)

¹⁴ Boehringer, Christoph & Rutherford, Thomas. (2009). Integrated assessment of energy policies: Decomposing top-down and bottom-up. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 33. 1648-1661. 10.1016/j.jedc.2008.12.007.

¹⁵ Top-down and Bottom-up: Combining energy system models and macroeconomic general equilibrium models Project: Regional Effects of Energy Policy (RegPol) CenSES working paper 1/2013 Per Ivar Helgesen

с технико-экономической точки зрения позволяют пользователю сравнивать влияние различных технологий и оценивать различные альтернативные варианты снижения выбросов парниковых газов для достижения климатических целей. Однако подход «снизу-вверх» не учитывает связи между энергетической системой и макроэкономическими секторами, таким образом игнорируя воздействия на эти сектора.

Восходящие модели плохо учитывают экономическую составляющую технологий, а значит только на их основе могут быть приняты неверные политики и меры

Эти два подхода значительно различаются и поэтому могут давать разные рекомендации для политиков. Производственные функции в нисходящих моделях обычно мягко реагируют на изменения - небольшое изменение цены приводит к небольшим изменениям в составе входов и выходов. Восходящие инженерные модели часто реагируют более бинарно: небольшое изменение цены может вообще не иметь никакого эффекта или может вызвать большие сдвиги в соотношении входов и выходов¹⁶. Оценка между несколькими подходами сверху вниз и снизу вверх и их полезность для принятия решения политиками и регуляторами рассматривается в работе (Algehed, Wirsenius et al. 2009¹⁷).

Также существуют разные подходы к связыванию моделей, которые будут обсуждаться ниже в разделе «Связывание моделей».

Макроэкономические модели сверху-вниз

В целом нисходящие модели можно разделить на четыре основных типа¹⁸:

- Модели ввода-вывода (затраты-выпуск);
- Вычислимые модели общего равновесия;
- Эконометрические модели;
- Системные динамические модели.

Модели «затраты-выпуск» отслеживают денежные потоки между различными секторами экономики и включают поставки как промежуточного, так и конечного потребления из каждого сектора. Исходя из этих взаимосвязей, можно оценить денежные эффекты экономических потрясений или структурных изменений в экономике. В этих моделях цены не являются динамическими и предполагают, что они заданы экзогенно.

¹⁶ Top-down and Bottom-up: Combining energy system models and macroeconomic general equilibrium models Project: Regional Effects of Energy Policy (RegPol) CenSES working paper 1/2013 Per Ivar Helgesen

¹⁷ Algehed, J., S. Wirsenius and J. Jönsson (2009). Modelling energy efficiency and carbon dioxide emissions in energy-intensive industry under stringent CO2 policies: comparison of top-down and bottom-up approaches and evaluation of usefulness to policy makers. ECEEE 2009 Summer Study, La Colle sur Loup, France: 11.

¹⁸ Herbst, A., F. Reitze, F. A. Toro and E. Jochem (2012). Bridging macroeconomic and bottom up energy models - the case of efficiency in industry. ECEEE 2012 Industrial Summer Study. Arnhem, The Netherlands, The European Council for an Energy Efficient Economy.

Вычислимые модели общего равновесия (CGE) основаны на экономической теории и рассчитывают, как меняются цены и виды деятельности во всех секторах, чтобы достичь общего равновесия в экономике. Как и первая группа, эти модели также основываются на данных «затраты-выпуск» из национальных счетов.

Эконометрические модели занимаются анализом временных рядов и оценивают статистические отношения между экономическими переменными во времени, чтобы рассчитать прогнозы на основе полученной модели.

Системные динамические модели имеют заранее определенные правила поведения различных участников в модели и на их основе могут выполнять сложные нелинейные симуляции.

Традиционный нисходящий анализ обычно оценивает совокупные взаимосвязи между относительными затратами и рыночными долями энергии и других факторов производства в экономике и связывает их с отраслевым и общим объемом производства в более широкой системе равновесия. Основными экзогенными параметрами являются эластичности замещения, которые указывают на взаимозаменяемость любой пары совокупных затрат (капитал, рабочая сила, энергия, материалы) и между формами энергии (уголь, нефть, газ и т. д.). Часто нисходящие модели также имеют параметр, называемый автономным повышением энергоэффективности, который показывает скорость, с которой независимая от цены технологическая эволюция улучшает производительность энергии. В той мере, в какой эти параметры оцениваются на основе реального поведения рынка, нисходящие модели отражают фактические предпочтения потребителей и предприятий, а также рыночную неоднородность условий финансовых затрат в реальном мире. Поскольку нисходящие модели основаны на агрегированных секторах, они представляют технологии менее детально, чем восходящие модели.

Инженерные модели снизу-вверх

Мы можем разделить такие модели на четыре основных типа^{19 20}:

- Оптимизационные модели;
- Имитационные модели;
- Модели учета;
- Многоагентные модели.

¹⁹ Fleiter, T., E. Worrell and W. Eichhammer (2011). "Barriers to energy efficiency in industrial bottom-up energy demand models-A review." *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 15(6): 3099-3111.

²⁰ Herbst, A., F. Reitze, F. A. Toro and E. Jochem (2012). Bridging macroeconomic and bottom up energy models - the case of efficiency in industry. ECEEE 2012 Industrial Summer Study. Arnhem, The Netherlands, The European Council for an Energy Efficient Economy.

Оптимизационные модели оптимизируют выбор технологических альтернатив с учетом общих затрат на систему, чтобы найти путь с наименьшими затратами для достижения конкретной цели за весь прогнозируемый период времени. Такие модели также относятся к моделям частичного равновесия, поскольку они уравнивают спрос и предложение в охватываемых секторах.

Имитационные модели составляют очень широкую и разнородную группу. Их аспекты моделирования выходят за рамки чистой оптимизации. Они могут включать эконометрически оцениваемые отношения. Большие имитационные модели могут включать частичную оптимизацию (например, с точки зрения компании) и могут состоять из различных модулей, охватывающих большее количество аспектов.

Модели учета менее динамичны и не учитывают цены на энергию. Эти модели в основном используют экзогенные допущения о техническом развитии.

Многоагентные модели представляют собой более широкий класс моделирования, чем модели оптимизации, поскольку они включают одновременную оптимизацию большим количеством агентов²¹.

Основным ограничением традиционного восходящего подхода является допущение о том, что простая оценка капитальных и эксплуатационных затрат указывает на полную социальную стоимость технологических изменений. Новые технологии сопряжены с более высокими финансовыми рисками, как и более длительная окупаемость, связанная с необратимыми инвестициями, такими как инвестиции в энергоэффективность. Кроме того, некоторые недорогие технологии с низким уровнем выбросов не могут полностью заменить своих конкурентов. Следовательно, традиционные восходящие модели могут предлагать политикам неправильные технологические варианты и неправильные регуляторные решения. Еще одно ограничение обычного восходящего подхода состоит в том, что его подход частичного равновесия ограничивает или частично ограничивает его способность оценивать макроэкономические эффекты политики, особенно торговые и структурные последствия изменений цен на энергоносители и затрат во всей экономике. Поэтому модели снизу-вверх могут предписать несоответствующие политики и технологии.

²¹ Top-down and Bottom-up: Combining energy system models and macroeconomic general equilibrium models Project: Regional Effects of Energy Policy (RegPol) CenSES working paper 1/2013 Per Ivar Helgesen

Недостатки подходов сверху-вниз и снизу-вверх

Нисходящие модели основаны на агрегированных секторах, они представляют технологии менее детально, чем восходящие модели

Поскольку нисходящим моделям не хватает технологических деталей, они ограничиваются моделированием инструментов финансовой политики. Величина финансового сигнала, необходимого для достижения заданного целевого показателя сокращения выбросов, указывает на его скрытые затраты, включая нематериальные затраты, связанные с рисками, связанными с новыми технологиями, рисками технологий с длительной окупаемостью и предпочтением характеристик одной технологии по сравнению с ее конкурентом.²² В моделях затраты-выпуски и вычислимых моделях общего равновесия могут отсутствовать некоторые пути снижения выбросов, если они уже не присутствуют в исторических данных, поскольку модели работают по принципу субституции, и если, например, на транспорте было очень мало электроэнергии, она будет очень медленно расти. Однако есть способы справиться с этим.

Традиционный нисходящий подход также имеет серьезные методологические ограничения. Параметры эластичности и автономного повышения эффективности в нисходящих моделях оцениваются на основе эмпирических данных. Даже если доверительные интервалы этих оценочных параметров узкие, эти значения, полученные из прошлого опыта, могут оказаться недействительными в будущем. Значения параметров могут резко измениться в будущем по мере изменения финансовых затрат на технологии из-за экономии на масштабе производства или накопленного опыта, а также по мере того, как потребители станут более принимать новые технологии по мере их появления на рынке. Следовательно, их оценка может не отражать полную адаптацию фирм и домохозяйств к политике, которая существенно влияет на экономические условия. Это, в свою очередь, может привести к высокой оценке затрат на политику сокращения выбросов, связанных с энергетикой.

Недостатки восходящих и нисходящих моделей стимулировали развитие гибридного подхода, объединяющего технологии и экономику

Еще одно ограничение нисходящего подхода заключается в том, что ограничения в формировании политики часто подталкивают разработчиков этой политики к действиям, ориентированным на рыночную политику (в отличие от стандартов, запретов, маркировки, поскольку их гораздо труднее реализовать). Тем не менее, с их агрегированным описанием технологий, нисходящие модели ограничены в моделировании эффектов политик, связанных с конкретными технологиями.

Следовательно, традиционные восходящие модели подробно описывают технологии, но не реалистично отражают

²² Algehed, J., S. Wirsenius and J. Jönsson (2009). Modelling energy efficiency and carbon dioxide emissions in energy-intensive industry under stringent CO₂ policies: comparison of top-down and bottom-up approaches and evaluation of usefulness to policy makers. ECEEE 2009 Summer Study. La Colle sur Loup, France: 11.

экономические решения, принимаемые предприятиями и потребителями при выборе технологий, и не отражают потенциальных обратных связей макроэкономического равновесия. Обычные нисходящие модели, напротив, устраняют эти недостатки, представляя макроэкономические обратные связи в системе равновесия и оценивая параметры технологических изменений на основе наблюдений за совокупной реакцией рынка на изменения затрат. Однако, поскольку в них отсутствуют технологические детали, нисходящие модели не могут использоваться для оценки того, как будущие реакции рынка и автономные тенденции могут отличаться от прошлых, поскольку специфические технологии регулирования, исследования и разработки, а также новые ожидания взаимодействуют с рыночными стимулами в течение длительного времени. периоды. Из-за этих методологических различий нисходящие и восходящие модели часто предсказывают расходящиеся затраты и, следовательно, предлагают разные политики для достижения климатических целей.

Этот методологический разрыв стимулировал исследование гибридных подходов, которые объединяют технологическую ясность восходящих моделей с микроэкономическим реализмом и макроэкономической обратной связью нисходящих моделей. Усилия по интегрированному моделированию обычно включают либо включение технологических деталей в структуру сверху вниз, либо включение поведенческого реализма и / или макро-обратной связи в структуру снизу-вверх.

Связывание моделей

Связывание моделей достигается посредством итераций с обратной связью между моделями. Первый пример связанных моделей энергосбережения был приведен в работе Hoffman and Jorgenson 1977²³. Они связали модель оптимизации энергосистемы Брукхейвена (BESOM) с моделью общего равновесия, а затем и с моделью затрат-выпуска. В течение следующих десятилетий несколько исследований связывали экономические модели и системные инженерные модели, но все связи были неформальными, то есть передача информации между моделями напрямую контролировалась пользователем. Это подводит нас к проблеме классификации различных типов связывания.

Для описания связи моделей часто используются термины: жесткое связывание и мягкое связывание. Другой подход к моделям связи определяет одностороннюю связь и двустороннюю связь. При односторонней связи параметры одной модели становятся экзогенными для другой модели.

²³ Hoffman, K. C. and D. W. Jorgenson (1977). "ECONOMIC AND TECHNOLOGICAL MODELS FOR EVALUATION OF ENERGY-POLICY." *Bell Journal of Economics* 8(2): 444-466.

При двусторонней связи модели обмениваются данными, это может происходить более одного раза.²⁴

Мы будем использовать термины жесткое и мягкое связывание²⁵, где мягкое связывание — это передача информации, контролируемая пользователем. Пользователь оценивает результаты моделей и решает, следует ли и как изменить входные данные каждой модели, чтобы привести два набора результатов в большее соответствие друг другу, то есть как сделать модели сходимыми.

Жесткое связывание подразумевает формальные ссылки, по которым информация передается без какой-либо оценки пользователя — обычно с помощью компьютерных программ. В областях, где модели пересекаются, можно использовать алгоритм для согласования результатов. Обычно одной модели дается контроль над определенными результатами, а другая модель настраивается на воспроизведение тех же результатов.

Следующий шаг в связывании моделей после жесткого связывания — интеграция моделей. Интегрированные модели запускаются вместе, вместо того чтобы обмениваться информацией между отдельными прогонами моделей.

Преимущества мягкого связывания можно охарактеризовать как практичность, прозрачность и обучение, а к преимуществам жесткого связывания можно отнести продуктивность, уникальность и контроль. Мягкое связывание кажется наиболее практичным в случае связывания моделей, основанных на разных подходах. Первоначальные инвестиции в компьютерное программирование остаются низкими, и разработчики моделей могут довольно быстро получить результаты для оценки и обучения. Но из соображений производительности более предпочтительным является жесткое связывание, но это снижает гибкость, и, если сложность моделей увеличивается, то они (модели) становятся еще менее гибкими. По мере увеличения объема прогонов модели и вовлечения большего числа пользователей модели требуется больше ресурсов для сохранения качества моделей с мягким связыванием, чем для моделей с жестким связыванием. Иными словами, модель с мягким связыванием часто не может работать без ее главного оператора, т.е. ее нельзя просто передать другому человеку, в отличие от модели жесткого связывания. Однако модели жесткого связывания будут плохо подходить для моделирования на кризисных и форс-мажорных условиях, поскольку в любом случае потребуют вмешательства оператора для

²⁴ DELZEIT R, et al., Linking Global CGE models with Sectoral Models to Generate Baseline Scenarios: Approaches, Challenges, and Opportunities, *Journal of Global Economic Analysis*, Volume 5 (2020), No. 1, pp. 162-195.

²⁵ Wene, C. O. (1996). "Energy-economy analysis: Linking the macroeconomic and systems engineering approaches." *Energy* 21(9): 809-824.

корректировки входных данных и ограничивающих параметров.

Тем не менее, жесткое связывание дает один уникальный результат для каждого набора предположений и данных. И предположения, и данные могут быть хорошо задокументированы. Качество результатов контролируется путем анализа этих предположений и данных. Мягкое связывание часто создает шум в виде различий между результатами моделей потоков энергии, цен и технологий в пределах единого региона. Контроль шума сложен, потому что большинство полезных наборов общих точек измерения оказываются неисключительными. Из-за шума мягкого связывания анализ неопределенности становится очень трудным. Несмотря на строгие процедуры, каждый случай мягкого связывания содержит человеческий фактор. Это также относится к жесткому связыванию - несмотря на то, что при жестком связывании обмен информацией автоматизируется, выбор параметров, которыми модели будут обмениваться, также является человеческим выбором.

Модели можно связывать не только попарно, но и создавать инструментарий для междисциплинарного моделирования. В частности, ЕС использует интегрированный набор моделей для детальной оценки воздействия климатической политики на секторы экономики (энергетика и транспорт, землепользование, качество воздуха и занятость).

Обмен информацией между различными моделями позволяет проводить обширную и последовательную оценку. Например, подробную информацию о технологиях из энергетических моделей можно использовать в моделях для всей экономики для оценки последствий для конкурентоспособности и занятости²⁶.

Интегрированные модели оценки

Интегрированные модели оценки объединяют знания из двух или более областей в единую структуру. Типичная цель - анализ экологических проблем, которые затрагивают разные академические дисциплины. Эта деятельность направлена на получение полезной информации для выработки политики, а не на продвижение знаний ради знаний, отсюда и термин «оценка». Среди моделей, изучающих выбросы CO₂, можно выделить:

- Интегрированная модель глобальной системы (IGSM), Совместная программа Массачусетского технологического института по науке и политике глобальных изменений (включает модель EPPA)²⁷

²⁶Weitzel, M., Vandyck, T., Keramidas, K. et al. Model-based assessments for long-term climate strategies. *Nat. Clim. Chang.* 9, 345–347 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0453-5>

²⁷Description and Evaluation of the MIT Earth System Model (MESM) Sokolov et al., *AGU Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10(8), 1759-1789 (2018)

- Модель оценки глобальных изменений (GCAM), Объединенный научно-исследовательский институт глобальных изменений при Университете Мэриленда.²⁸
- Комплексная система моделирования оценки (IAM) MESSAGE-GLOBIOM model в IIASA.^{29 30 31}
- Модель оценки региональных и глобальных эффектов политики сокращения выбросов парниковых газов (MERGE), разработанная в Стэнфордском университете.³²
- Модель общего равновесия GEM-E3 имеет интегрированный модуль. E3M-Lab разработала и встроила в модель GEM-E3 модуль снизу-вверх и сверху-вниз для лучшего представления решения об инвестициях в электроэнергетический сектор. С этой целью технологии производства электроэнергии рассматривались как отдельные производственные сектора, а инвестиционное решение принималось отдельно. Преимущество этого подхода состоит в том, что он полностью согласуется с общей структурой равновесия, в то время как он приводит к полной идентификации технологий.³³
- Инженерно-экономические модели также являются еще одним примером гибридных моделей, в которых макроэкономические принципы сочетаются с технологическими деталями. С помощью модели POLES-JRC был создан подход для интеграции энергетического сектора с макроэкономической оценкой и оценкой климатической политики.³⁴

Очевидно, что любая ориентированная на политику модель энергетики и экономики не может быть полностью точной в своем представлении текущих условий и в оценке будущей

²⁸Global Change Assessment Model (GCAM). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

²⁹Krey V, Havlik P, Fricko O, Zilliacus J, Gidden M, Strubegger M, Kartasasmita G, Ermolieva T, Forsell N, Gusti M, Johnson N, Kindermann G, Kolp P, McCollum DL, Pachauri S, Rao S, Rogelj J, Valin H, Obersteiner M, Riahi K (2016) MESSAGE-GLOBIOM 1.0 Documentation. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria
<http://data.ene.iiasa.ac.at/message-globiom/>.

³⁰Fricko O, Havlik P, Rogelj J, Klimont Z, Gusti M, Johnson N, Kolp P, Strubegger M, Valin H, Amann M, Ermolieva T, Forsell N, Herrero M, Heyes C, Kindermann G, Krey V, McCollum DL, Obersteiner M, Pachauri S, Rao S, Schmid E, Schoepp W, Riahi K (2017) The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century. *Global Environmental Change*, Volume 42, Pages 251- 26, DOI:10.1016/j.gloenvcha.2016.06.004.

³¹Huppmann D, Gidden M, Fricko O, Kolp P, Orthofer C, Pimmer M, Kushin N, Vinca A, Mastrucci A, Riahi K, Krey V (2019) The MESSAGEix Integrated Assessment Model and the ix modeling platform (ixmp): An open framework for integrated and cross-cutting analysis of energy, climate, the environment, and sustainable development. *Environmental Modelling & Software*, Volume 112, Pages 143-156, DOI:0.1016/j.envsoft.2018.11.012

³²Alan Manne, Robert Mendelsohn, Richard Richels, MERGE: A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies. *Energy Policy*, Volume 23, Issue 1, 1995, Pages 17-34, ISSN 0301-4215, [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(95\)90763-W](https://doi.org/10.1016/0301-4215(95)90763-W).

³³E3M Lab, Institute of Communications and Computers Systems National Technical University of Athens, <http://www.e3mlab.ntua.gr/>

³⁴Keramidas K, Kitous A, Despres J, Schmitz A. POLES-JRC model documentation 2017. <https://doi.org/10.2760/814959>

При разработке моделей неизбежны значительные компромиссы между точностью и практической осуществимостью. Намеренно выбранные ограничения модели будут значительно варьироваться в зависимости от того, на какие вопросы модель отвечает.

динамики при использовании различных технологий и направлений политики. Вместо этого необходимо признать, что при разработке моделей неизбежны значительные компромиссы между точностью и практической осуществимостью, и что намеренно выбранные ограничения модели будут значительно варьироваться в зависимости от того, на какие вопросы модель предназначена отвечать.

Чтобы повысить полезность модели, процесс ее формирования должен быть связан с критериями, которые оценивают способность модели быть более полезной для политиков, стремящихся стимулировать технологические изменения, и руководствоваться ими. Лица, определяющие политику, а также лица, принимающие решения в отрасли, нуждаются в моделях, которые могут реалистично оценивать совокупный эффект политики, которая варьируется от общеэкономической до конкретной технологии, включая инструменты командования и контроля (например, стандарты эффективности, установленные технологии) и ценовые инструменты (например, налоги, субсидии). Мерфи и др. (2007) предложили три ключевых критерия оценки полезности модели для политиков³⁵:

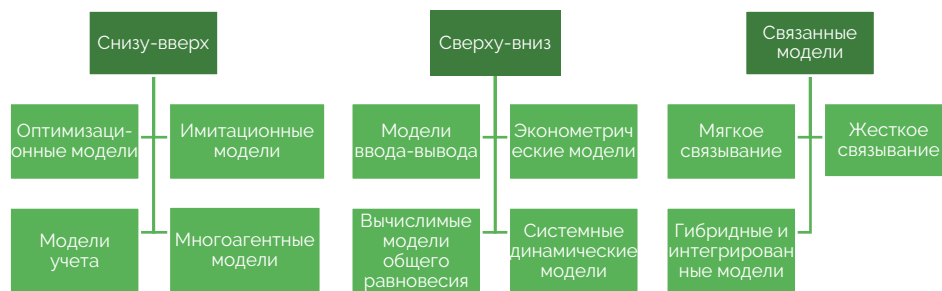
1. Модели должны четко описывать технологии, которые конкурируют за предоставление услуг в масштабах всей экономики.
2. Модели должны моделировать то, как потребители, фирмы и производители выбирают между этими технологиями таким образом, чтобы это точно отражало реальный мир.
3. Модели должны отражать равновесные обратные связи между решениями в области энергетических технологий и общей структурой, и производительностью экономики.

Традиционные восходящие и нисходящие подходы по своей природе ограничены в предоставлении лицам, принимающим решения, достаточной и адекватной информации об эффективных политических инструментах для борьбы с выбросами CO₂ в промышленности. Именно поэтому востребованы стали методы и модели, объединяющие традиционные восходящие и нисходящие подходы.

³⁵ Murphy, R., Rivers, N., Jaccard, M. 2007. Hybrid modeling of industrial energy consumption and greenhouse gas emissions with an application to Canada. *Energy Economics* 29(4): 826-846.

Сами модели можно классифицировать в первом приближении как показано на Рисунке 1.

Рисунок 1 - Классификация подходов к моделированию энергетики и климата



Источник: составлено Центром энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО

ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ И ИНСТРУМЕНТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЕС ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЛИТИКИ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ И МИТИГАЦИИ В ЕС

В ЕС существует два набора инструментов моделирования: моделирование воздействия и адаптации (проект PESETA) и моделирование смягчения последствий (декарбонизация).

Модели воздействия изменения климата и энергетики в ЕС относятся к разным типам рассматриваемых моделей. В ЕС существует два набора инструментов моделирования: моделирование воздействия и адаптации (проект PESETA) и моделирование смягчения последствий (декарбонизация). Они включают в себя наборы моделей, которые интегрированы друг с другом³⁶.

Основные модели, входящие в комплекс по формированию сценариев адаптации и декарбонизации, были созданы около 20-30 лет назад (Таблица 2). За это время их постоянно дорабатывали и развивали. Сегодня для построения сценариев адаптации и декарбонизации Еврокомиссия (ЕК) использует более 15 моделей различного типа от простых эмпирических статистических моделей до сложных интегрированных моделей вычислимого общего равновесия.

Таблица 2 - Дата создания моделей, входящих в европейский модельный комплекс

Модель	Год создания
PRIMES	1990
WOFOST	1994
POLES	1990
LISFLOOD	2001
Fire Weather Index (FWI) system	1992
CAPRI	1999
GLOBIOM -G4M	Конец 2000
GAINS	
GEM-E3 (+application GEM-E3 CAGE)	1989-1992

Источник: PRIMES MODEL 2013-2014 Detailed model description E3MLab/ICCS at National Technical University of Athens, An overview on the CAPRI model Common Agricultural Policy Regionalized Impact Model W.Britz, University Bonn, официальный сайт ЕК <https://cordis.europa.eu/article/id/3211-evaluation-of-the-joule-programme>, официальный сайт IASA <https://iiasa.ac.at/web/home/research/GLOBIOM/GLOBIOM.html>, POLES-JRC model documentation 2017 EUR 28728 EN Keramidias, K., Kitous, A., Després, J., Schmitz, A, A. Wit, et al 25 years of the WOFOST cropping systems model, Agricultural Systems, Volume 168, 2019, Pages 154-167, LISFLOOD-FP User manual Code release 5.9.6 Paul Bates, Mark Trigg, Jeff Neal and Amy Dabrowa School of Geographical Sciences, University of Bristol, University Road, Bristol, BS8 1SS, UK. 25 th November 2013

Построение сценариев адаптации производится в рамках проекта PESETA IV, а для построения сценариев

³⁶ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/analysis/models_en

декарбонизации используется набор интегрированных моделей.

В данной работе авторы рассматривают наиболее комплексный инструмент для построения сценариев развития, который есть в ЕС, созданный Joint Research Centre (JRC). Модельный комплекс, разработанный JRC, представляет собой интегрированные модели, которые позволяют оценить сценарии изменения климата и его влияние на энергетику, транспорт, промышленность, сельское хозяйство, лесное хозяйство, землепользование, атмосферную дисперсию, здоровье, экосистемы (подкисление, эвтрофикация), макроэкономику с множеством секторов, занятость и социальное обеспечение в ЕС.

Об Объединенном исследовательском центре

Объединенный исследовательский центр (Joint Research Centre - JRC) под эгидой Еврокомиссии предоставляет европейским и национальным властям научную и исследовательскую поддержку, для принятия политических решений и решения современных проблемы, с которыми сегодня сталкивается общество. Исследования и инновации центра в значительной степени финансируются из бюджета ЕС.

Штаб-квартира JRC находится в Брюсселе, в сам центр входят 6 исследовательских центров расположенные в Гиле (Бельгия), Испре (Италия), Карлсруэ (Германия), Петтене (Нидерланды) и Севилье (Испания).

Центр был создан после подписания в 1957 г. Договора о Европейском экономическом сообществе и Договора о Европейском сообществе по атомной энергии (EURATOM). Изначально центр создавался как Объединенный центр ядерных исследований. Уже в 1958 г. началось строительство итальянского центра ядерных исследований в Испре. Стоит отметить, что уже при создании центра был письменно зафиксирован принцип распределённого исследования, т.е. возможность географической и организационной диверсификации исследований центра. Так, в таблице ниже показано, что основные модели, которые JRC использует при построении сценариев декарбонизации и адаптации, принадлежат различным организациям или разрабатывают совместно (Таблица 3).

Таблица 3 - Примеры моделей, которые использует JRC и их принадлежность

Модель	Держатель	Расположение
PRIMES	E3MLab/ICCS института NTUA	Греция
PROMETHEUS	E3MLab/ICCS института NTUA	Греция
POLES	Enerdata, European Commission's JRC IPTS и University of Grenoble-CNRS	Франция, Испания
CAPRI	Eurocare GmbH, JRC и другие	Германия, Испания
GLOBIOM -G4M	IIASA	Австрия
GAINS	IIASA	Австрия
GEM-E3 (+application GEM-E3 CAGE)	E3MLab/ICCS of NTUA, JRC-IPTS и другие	Греция, Испания

Источник: Официальный сайт ЕК (https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/analysis/models_en)

Вплоть до 1970-х гг. XX века Центр концентрировался на ядерных исследованиях, в частности на разработке прототипов новых ядерных реакторов. Однако на фоне нарастающего технологического отставания, главным образом между ЕС и США, в 1970-е гг. центр начал диверсифицироваться. В это десятилетие были заложены основы программ по ВИЭ и водородным технологиям. Также были заложены основы экологического мониторинга и дистанционного зондирования из космоса, которые можно было бы использовать для изучения загрязнения и мониторинга сельского хозяйства и природных ресурсов.

В 1980-х гг. еще большее внимание стали уделять безопасности атомных станций после аварий в Три Майл Айланде и в Чернобыле. В 1990-е гг. фокус внимания расширился в сторону здравоохранения и защиты потребителей. Например, в 1993 г. Европейская комиссия учредила Европейское бюро по вину, алкоголю и спиртным напиткам (BEVABS) при JRC. Используя магнитный резонанс, ученые определяли, как было сделано вино и был ли добавлен в него сахар. Расширились исследования в области климата и экологии. В 2000 г. JRC способствовал открытию первых соединений плутония, демонстрирующих сверхпроводимость.

Благодаря своим компетенциям в области анализа данных, моделирования и качества информации, в 2000-х г. JRC начал оказывать поддержку Европейской комиссии в области статистики, макроэкономического моделирования, финансовой эконометрики и анализа чувствительности, многокритериальной социальной оценки и оценки знаний.

Центр сотрудничает с более чем тысячей организаций по всему миру, ученые которых имеют доступ ко многим объектам JRC через различные соглашения о сотрудничестве.

Объединенный исследовательский центр (JRC) поддерживает политику ЕС независимыми научными исследованиями. Центр, по сути, разрабатывает инструменты и делаем их доступными для регуляторов и политиков. JRC – часть генерального директората Европейской комиссии, за который отвечает комиссар по инновациям, исследованиям, культуре, образованию и молодежи. Центром руководит Совет управляющих, который помогает и консультирует Генерального директора и Европейскую Комиссию по стратегии и роли JRC и его научному, техническому и финансовому управлению. Члены правления также представляют интересы JRC в своих странах.

JRC финансируется рамочной программой ЕС по исследованиям и инновациям Horizon 2020 для его работ, не связанных с ядерными исследованиями и Программой исследований и обучения EURATOM для работ, связанных с ядерными исследованиями. Бюджет JRC составляет 330 млн евро в год.

Модельный комплекс, разработанный JRC, представляет собой интегрированные модели, которые позволяют оценить сценарии изменения климата и его влияние на энергетику, транспорт, промышленность, сельское хозяйство, лесное хозяйство, землепользование, атмосферную дисперсию, здоровье, экосистемы (подкисление, эвтрофикация), макроэкономику с множеством секторов, занятость и социальное обеспечение в ЕС.

PESETA IV – сценарии адаптации и последствия изменения климата

Проект PESETA направлен на исследование биофизических и экономических последствий изменений климата.

Проект JRC PESETA IV направлен на исследование и понимание биофизических и экономических последствий изменений климата. Это достигается за счет использования прогнозов изменения климата для Европы на основе нескольких климатических моделей, а также набора моделей воздействий изменения климата. Проект охватывает несколько секторов, имеющих отношение к обществу и окружающей среде, в том числе: прибрежные наводнения, речные наводнения, засухи, сельское хозяйство, энергия, транспорт, водные ресурсы, потеря среды обитания, лес пожары, производительность труда и смертность от жары. Большинство оценок основаны на предположении, что будущее изменение климата произойдет в настоящем, что повлияет на сегодняшнюю экономику и население. Оценены экономические последствия прогнозируемых воздействий.

Методология

Негативные эффекты от изменения климата чрезвычайно разнородны и многогранны и уже действуют не только на биофизическом уровне, но и распространились на социально-экономический уровень.

Для поиска решения данной проблемы необходимо тщательное моделирование последствий изменения климата и сценарный подход. Так, в проекте PESETA применяется восходящий метод «снизу-вверх», и можно выделить три основных методологических шага.

PESETA IV оценивает преимущества (предотвращение негативных воздействий) от сокращения выбросов парниковых газов и потенциал адаптационных мер на отраслевом уровне ЕС. Это делается путем оценки секторальных воздействий изменения климата (ущерба) в будущем, когда будут приниматься меры политики по смягчению последствий и адаптации, по сравнению с ситуацией бездействия. Для сценария бездействия воздействия оцениваются при глобальном потеплении на 3°C и отсутствии адаптации. Преимущества политики смягчения последствий при достижении целей Парижского соглашения в отношении потепления оцениваются путем оценки воздействия глобального потепления на 1,5°C и 2°C. Для некоторых секторов рассматриваются различные отраслевые механизмы адаптации.

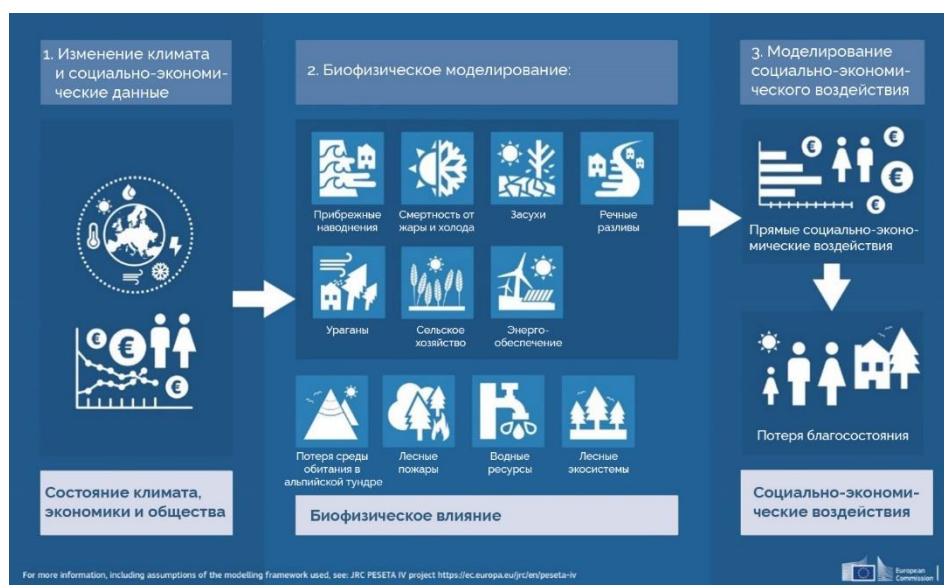
Подход состоит из трех этапов (Рисунок 2):

1. Во-первых, выбираются сценарии изменения климата и социально-экономического развития.
2. На втором этапе запускаются модели воздействия, которые используются для количественной оценки того,

как прогнозируемые изменения климатических переменных влияют на урожайность сельскохозяйственных культур, энергоснабжение, речные наводнения, прибрежные наводнения, волны тепла и холода, засуху, пригодность среды обитания, лесные пожары, лесные экосистемы, водные ресурсы и ураганы.

3. На третьем этапе отраслевые воздействия и опасные воздействия последовательно оцениваются в широком экономическом контексте. Часть биофизических воздействий анализируется с точки зрения прямого антропогенного воздействия и экономических потерь; в частности, для сельского хозяйства, энергоснабжения, речных наводнений, прибрежных наводнений, волн жары и холода, засухи и ураганов. Наконец, прямые человеческие и экономические воздействия интегрируются в общую экономическую модель для оценки соответствующих потерь благосостояния.

Рисунок 2 - Подход PESETA IV



Источник: Еврокомиссия, ПРОЕКТ JRC PESETA IV

Климатическое моделирование в PESETA IV

Климатические модели, используемые в PESETA IV, моделируют физические климатические процессы на сетке, охватывающей всю Европу. Используемые климатические модели известны как «региональные климатические модели», это что означает, что они имеют относительно мелкую сетку (0,11 градуса, ~ 12,5 км), т.е. данные модели из имеющихся в настоящее время, имеют наиболее детализированный масштаб, для общеевропейских исследований.

Климатическое прогнозирование, его результаты, различаются от одной климатической модели к другой, даже если они учитывают один и тот же уровень парниковых газов

Моделирование последствий изменения климата показало четкое разделение между севером и югом ЕС

и все модели построены правдоподобным образом. Это явление связано с неопределенностью моделирования климата. Чтобы учесть эту неопределенность, JRC PESETA III начал с первоначального набора из 11 климатических моделей, которые приняли участие в большом проекте взаимного сравнения климатических моделей под названием EURO-CORDEX³⁷

В PESETA IV были использованы три траектории потепления: 1,5°C, 2°C и 3°C. Три сценария потепления были оценены на основе двух сценариев выбросов парниковых газов (RCP4.5 и RCP8.5) в каждой из 11 региональных климатических моделей с целью учета влияния различных темпов потепления на среднюю глобальную температуру, поскольку год, когда достигается любой заданный уровень потепления (например, 2°C), будет отличаться как для климатических моделей, так и для сценариев выбросов (Таблица 4). На Рисунке 3 показано изменение годовой температуры и количества осадков в Европе между текущим (1981-2010 гг.) и тремя сценариями потепления.

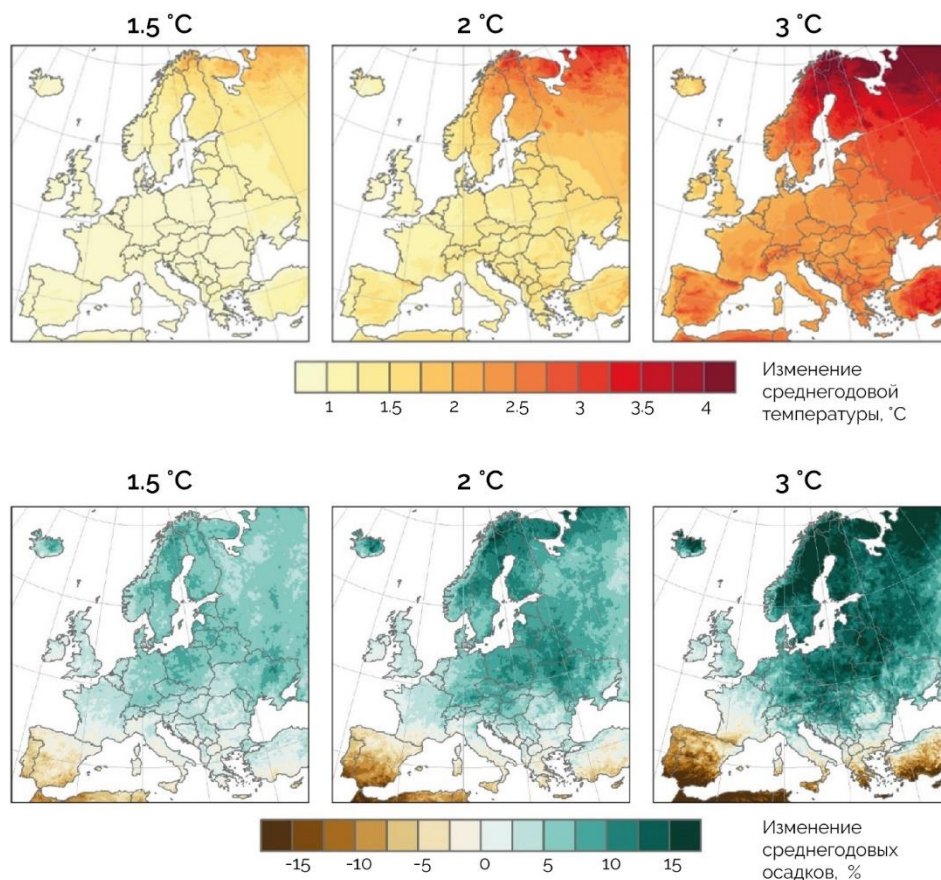
Таблица 4 - Приоритетный поднабор из 5 климатических моделей, используемых в PESETA III, и год достижения 2°C

	Полное название климатической модели	2 °C
H1	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_r1i1p1_CLMcom-CCLM4-8-17	2044
H2	ICHEC-EC-EARTH_r12i1p1_CLMcom-CCLM4-8-17	2041
H3	IPSL-IPSL-CM5A-MR_r1i1p1_IPSL-INNERIS-WRF331F	2035
H4	MOHC-HadGEM2-ES_r1i1p1_SMHI-RCA4	2030
H5	MPI-M-MPI-ESM-LR_r1i1p1_SMHI-RCA4	2044

Источник: Еврокомиссия, ПРОЕКТ JRC PESETA III

³⁷ <http://euro-cordex.net>

Рисунок 3 - Изменения по сравнению с нынешней (1981-2010 гг.) годовой температурой (вверху) и количеством осадков (внизу) для трех сценариев глобального потепления, используемых в PESETA IV (на 1,5, 2 и 3°C теплее, чем доиндустриальные)



Источник: Еврокомиссия, ПРОЕКТ JRC PESETA IV

Обзор моделей воздействия

PESETA IV использует современные модели воздействия для количественной оценки воздействия изменения климата на несколько секторов по всей Европе (Таблица 5). Некоторые модели используются в нескольких секторах, потому что прогнозы из одной модели воздействия могут использоваться в качестве входных данных для другой модели, например, прогнозы гидрологической модели используются для оценки воздействия изменения климата на затопление рек, засуху, доступность воды и энергию (для гидроэнергетики).

Таблица 5 - Секторы воздействия, исследованные PESETA III и использованные модели воздействия.

Категория влияния	Модель биофизического влияния	Моделирование социально-экономического влияния
Водные ресурсы	LISFLOOD	Воздействие нехватки воды на человека. Динамическая и статическая
Прибрежные наводнения	Картографирование затопления	Эмпирическая функция повреждений от наводнений. Динамическая и статическая
Речные разливы и паводки (наводнения)	LISFLOOD и картографирование затопления	Эмпирическая функция повреждений о наводнениях
Засуха	LISFLOOD	Эмпирическая функция потерь от засухи. Динамическая и статическая.
Сельское хозяйство	CARPI и WOFOST	Моделирование экономики сельского хозяйства с использованием модели регионального воздействия общей сельскохозяйственной политики (CAPRI)
Энергетика	POLES	Моделирование издержек на производство энергии
Лесные пожары	Fire Weather Index (FWI) system (Индекс пожароопасности системы)	
Потеря зон обитания	Климатическое зонирование	
Волны тепла и холода	Эмпирическая статистическая модель	Воздействие на человека и эмпирические уровни смертности
Ураганы	Эмпирическая статистическая модель	Эмпирическая функция повреждений от ветра и уровня смертности людей
Экосистема лесов	Эмпирическая статистическая модель	
Экономическая интеграция		Интегрированное экономическое моделирование с использованием модели общего равновесия (CaGE) для оценки климата

Источник: Еврокомиссия, ПРОЕКТ JRC PESETA IV

Социально-экономические сценарии

PESETA IV в первую очередь направлена на оценку воздействия, как если бы будущее изменение климата произошло в настоящем, оказывая влияние на сегодняшнюю экономику и население. Поэтому в большинстве секторов предполагается, что текущий уровень населения и валового внутреннего продукта (ВВП) не изменится в будущем. Это называется «статическим» анализом.

Однако в некоторых случаях интересно также понять чувствительность воздействий к будущим социально-экономическим изменениям. С этой целью воздействие при различных предположениях о будущих социально-

экономических изменениях также оценивается в 2050 и 2100 гг. для прибрежных и речных наводнений, засухи, ураганов, оценка рынка сельскохозяйственных культур проводится с поправкой на состояние здоровья населения. Для этих секторов демографические прогнозы с высоким разрешением были получены из Доклада о старении ECFIN за 2015 г. для учета динамики населения. Сравнение этих «динамических» воздействий со «статическими» воздействиями позволяет разделить влияние климатических и социально-экономических изменений на будущие климатические риски.

В Приложении 1 приведено более подробное описание моделей, входящих, в модельный комплекс ЕС.

Результаты Peseta IV

Ограничение глобального потепления уровнем ниже 2°C значительно снизит воздействие изменения климата в Европе.

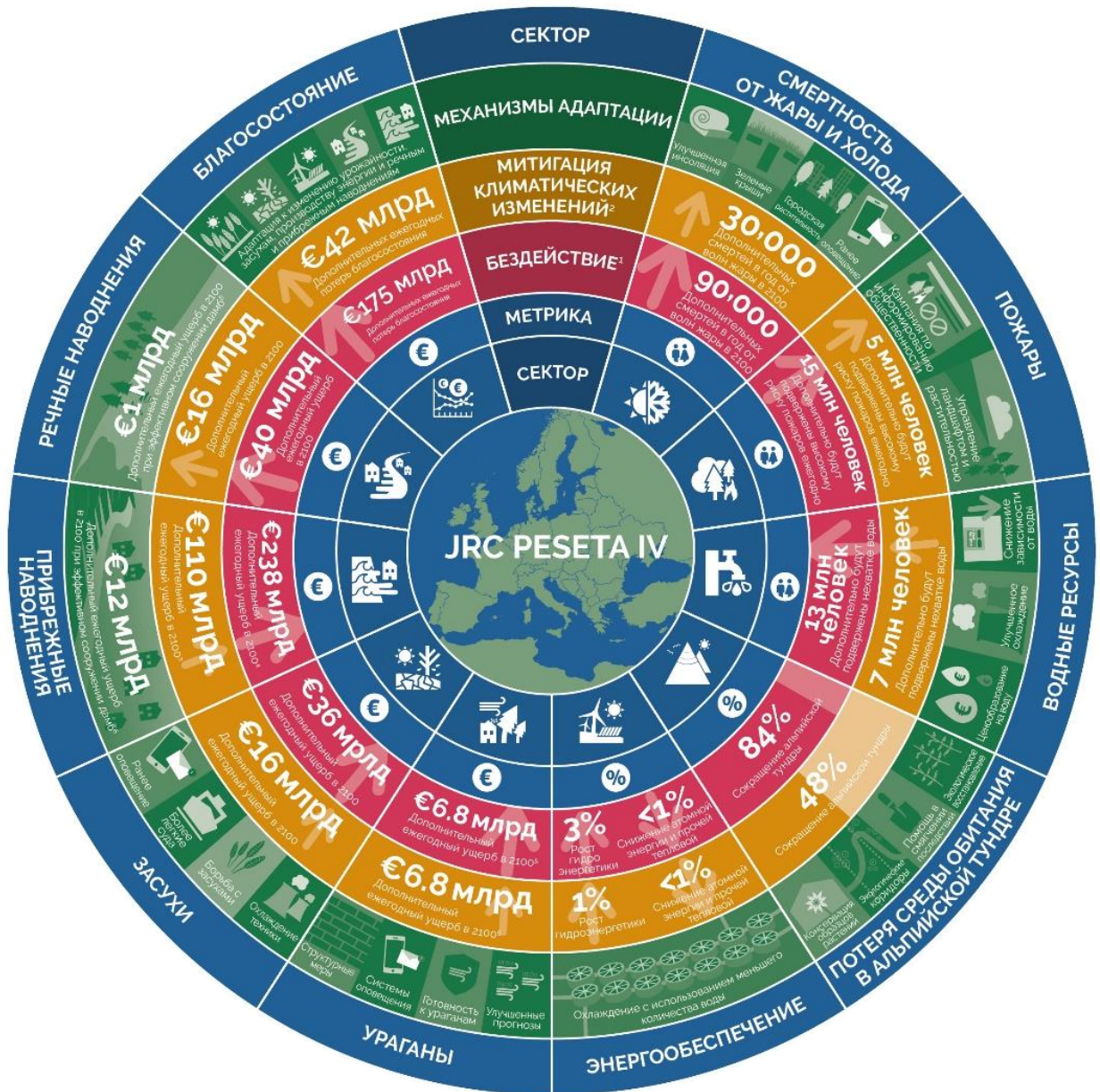
Смягчение последствий изменения климата может значительно снизить их влияние на экономику и социальную сферу в ЕС, однако не все воздействия можно избежать методами смягчения последствий изменения климата. Другим методом может стать адаптация, которая не только может еще больше снизить последствия воздействий изменения климата, но и может это сделать рентабельным способом.

Так, экономические потери в сценарии глобального потепления на 3°C (красная часть круга) составят порядка 500 млрд евро. При этом 28 млн человек дополнительно пострадают от нехватки воды и лесных пожаров, также изменение климата приведет к дополнительным смертям в 90000 человек к 2100 г. от волн тепла. 84% Альпийской тундры будет утеряно.

В сценарии митигации климата экономические потери будут ниже (желтая часть круга) и составят порядка 190 млрд евро. При этом 12 млн человек дополнительно пострадают от нехватки воды и лесных пожаров, также изменение климата приведет к дополнительным смертям в 30000 человек к 2100 г. от волн тепла. 48% Альпийской тундры будет утеряно.

В сценарии адаптации экономические потери будут ниже (зеленая часть круга) составят порядка 13 млрд евро. При этом ежегодные инвестиции с настоящего момента до 2100 г. на установку и обслуживание резервуаров составят 3,3 миллиарда евро в год, а усиление защиты вдоль береговой линии населенных и важных с экономической точки зрения прибрежных территорий позволит избежать 220 млрд евро убытков от наводнений ежегодно в ЕС и Великобритании в конце этого века при ежегодных затратах менее 2 млрд евро в год с настоящего момента до 2100 г. (Рисунок 4).

Рисунок 4 - Краткие результаты проекта PESETA IV



БЕЗДЕЙСТВИЕ 3°C
МИТИГАЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ 1.5°C
МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ

Источник: European Commission, JRC PESETA IV study

Исследование JRC PESETA IV показывает, что экосистема, люди и экономика в ЕС столкнутся с серьезными последствиями изменения климата, если не будут приняты меры по снижению выбросов парниковых газов или меры по адаптации к изменению климата. Моделирование последствий изменения климата демонстрирует четкое разделение между севером и югом ЕС, при этом южные регионы Европы пострадают в гораздо большей степени из-за экстремальной жары, нехватки воды, засухи, лесных пожаров и потерь в сельском хозяйстве.

Адаптация к изменению климата позволит минимизировать неизбежные воздействия экономически эффективным образом.

Ограничение глобального потепления уровнем ниже 2°C значительно снизит воздействие изменения климата в Европе. Адаптация к изменению климата позволит еще больше минимизировать неизбежные воздействия экономически эффективным образом, со значительными сопутствующими выгодами от решений, основанных на природе.

Комплекс моделей для анализа политики декарбонизации и митигации в ЕС

Сценарии декарбонизации обеспечили глобальный контекст развития долгосрочной стратегии ЕС

Помимо модельного комплекса PESETA, предназначенного для анализа последствий изменения климата и сценариев адаптации, в ЕС разработан и инструментарий для количественной оценки сценариев декарбонизации и митигации, который помогает Европейской комиссии анализировать возможные варианты регулирования.

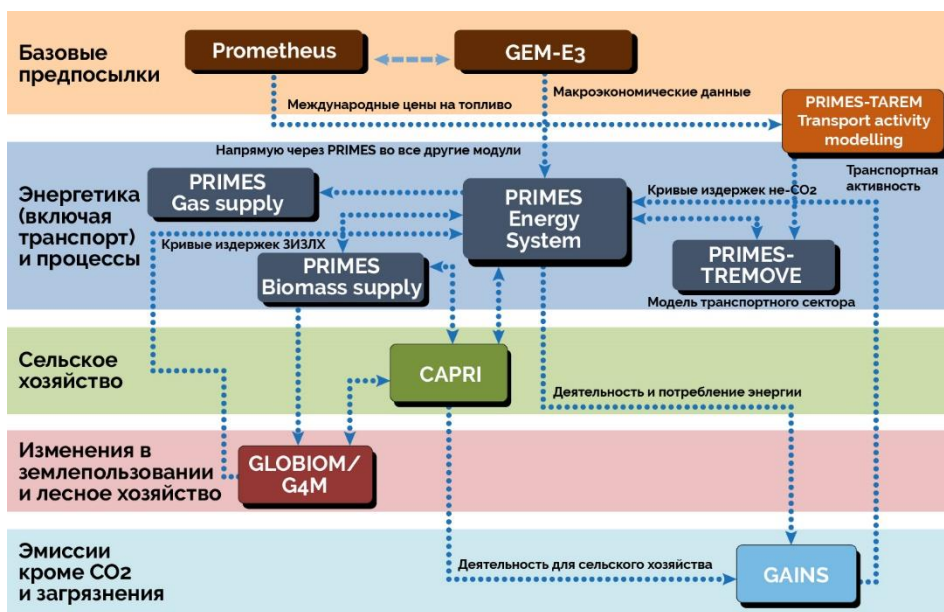
Ключевой частью моделирования сценария декарбонизации является регулярное создание обновленных эталонных сценариев выбросов парниковых газов в ЕС в соответствии с текущими тенденциями и политиками государств-членов ЕС. Результаты сценария политики предоставляют аналитическую информацию для поддержки анализа экологических, экономических и социальных воздействий, например, анализ экономической эффективности.

Структура модельного комплекса

Модели охватывают все выбросы и абсорбцию парниковых газов (Рисунок 5):

- Выбросы: выбросы CO₂ от энергии и процессов (PRIMES), CH₄, N₂O, фторированные парниковые газы (GAINS), выбросы CO₂ от LULUCF (GLOBIOM-G4M), загрязнение воздуха SO₂, NO_x, PM_{2,5}-PM₁₀, околземный озон, VOC, NH₃ (GAINS)
- Сокращение и абсорбция выбросов: структурные изменения и технологии в энергетической системе и промышленных процессах (PRIMES), технологические меры по сокращению выбросов, не связанных с CO₂ (GAINS), изменения в землепользовании (GLOBIOM-G4M-CAPRI)
- География: индивидуально все страны-кандидаты члены ЕС, ЕС и, в соответствующих случаях, Норвегия, Швейцария и Босния и Герцеговина
- Воздействие: на энергетику, транспорт, промышленность, сельское хозяйство, лесное хозяйство, землепользование, атмосферную дисперсию, здоровье, экосистемы (подкисление, эвтрофикация), макроэкономику с множеством секторов, занятость и социальное обеспечение.

Рисунок 5 - Инструменты моделирования для анализа энергетического сектора ЕС



Источник: Еврокомиссия.

Некоторые результаты моделирования сценариев для анализа политики декарбонизации и митигации в ЕС

Для достижения целей по нулевой эмиссии в ЕС к 2050 г. недостаточно стимулировать ВИЭ, энергоэффективность, водород и новые подходы к мобильности

Модели IMAGE, POLES и GLOBIOM использовались для создания глобальных сценариев, совместимых с траекториями 2C и 1.5C, с несколькими вариантами (например, с невысоким уровнем использования биомассы). Меры по смягчению последствий, достигнутые ЕС в 2050 году в этих сценариях, устанавливают рамки или подтверждают, что меры по смягчению последствий, рассмотренные в сценариях ЕС (-80% или -100%), были совместимы с глобальными целями 2C / 1.5C. Можно сказать, что эти сценарии обеспечили глобальный контекст развития долгосрочной стратегии ЕС.^{38 39}

ЕС, на который приходится 10% мировых выбросов парниковых газов, является мировым лидером в переходе к экономике с нулевыми выбросами. Уже в 2009 г. ЕС поставил цель сократить выбросы на 80-95% к 2050 г.⁴⁰

³⁸ Keramidas, K., Tchung-Ming, S., Diaz Vazquez, A., Weitzel, M., Vandyck, T., Després, J., Schmitz, A., Rey Los Santos, L., Wojtowicz, K., Schade, B., Saveyn, B. and Soria Ramirez, A., Global Energy and Climate Outlook 2018: Sectoral mitigation options towards a low-emissions economy, EUR 29462 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97462-5, doi:10.2760/67475, JRC113446.

³⁹ Esmeijer K., Elzen M., Gernaat D., Vuuren D., Doelman J., Keramidas K., Tchung-Ming S., Després J., Schmitz A., Forsell N., Havlik P., and Frank S., 2 °C AND 1.5 °C SCENARIOS AND POSSIBILITIES OF LIMITING THE USE OF BECCS AND BIO-ENERGY, Netherlands Environmental Assessment Agency The Hague, 2018

⁴⁰ Brussels, 28.11.2018 COM(2018) 773 final COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE, THE COMMITTEE OF THE REGIONS AND THE EUROPEAN INVESTMENT BANK A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy

Кейс ЕС 2018 г: Как строились сценарии декарбонизации в ЕС.

В 2009 г. ЕС поставил цель сократить выбросы на 80-95% к 2050 г. Для этого была разработана комбинированная политика, которая включала в себя:

- реформированную систему торговли выбросами (EST) ЕС,
- национальные цели по сокращению выбросов парниковых газов,
- законодательство по поддержанию стока земель и лесов ЕС,
- согласованные цели на 2030 г. по энергоэффективности и возобновляемым источникам энергии (ВИЭ),
- законодательство по повышению эффективности автомобилей.

Однако модельные расчёты показали, что эта политика позволила бы сократить выбросы парниковых газов (ПГ) только на 60% к 2050 г.

Для достижения поставленных целей были разработаны восемь дополнительных путей (сценариев) развития. За основу были взяты пять сценариев, которые рассматривали различные технологии и действия, которые способствуют переходу к экономике с нулевым выбросом парниковых газов. В этих сценариях в разной мере растёт электрификация, в т.ч. за счет ВИЭ, водорода и электрического топлива (power-to-X), а также энергоэффективность конечных пользователей и роль экономики замкнутого цикла.

Эти пять сценариев по-отдельности обеспечивали сокращение выбросов парниковых газов чуть более чем на 80%, без учета землепользования и лесного хозяйства, к 2050 г. по сравнению с 1990 г. Включая поглотители со стороны землепользования и лесного хозяйства, которые поглощают больше CO₂, чем выделяют, эти сценарии достигали около 85% сокращения выбросов ПГ к 2050 г. по сравнению с 1990 г. Шестой сценарий, объединяющий все пять вариантов, обеспечивал чистое сокращение выбросов ПГ до 90%.

Первые шесть сценариев целом обеспечивали достижение поставленной цели в 80-95%, однако уже на данном этапе в ЕС начали рассматривать пути достижения нулевой эмиссии, а эти сценарии не обеспечивали нейтральности выбросов ПГ к 2050 г. Это связано с тем, что некоторые выбросы ПГ сохраняются, особенно в сельскохозяйственном секторе.

В связи с этим стала очевидна необходимость изучить дополнительные меры по снижению эмиссии ПГ. Например, применение биомассы при одновременном увеличении естественных поглотителей в сочетании с технологиями улавливания и хранения углерода. Таким образом, седьмой и восьмой сценарии подробно исследовали эти меры, чтобы оценить, как достичь нейтральности выбросов ПГ к 2050 г и чистых отрицательных выбросов в дальнейшем.

Седьмой сценарий продвигал все энергоносители с нулевым выбросом углерода, а также энергоэффективность, и полагается на технологии с отрицательными выбросами в виде биоэнергетики в сочетании с улавливанием и хранением углерода, чтобы сбалансировать оставшиеся выбросы.

Восьмой сценарий был основан на седьмом сценарии, но также оценивал влияние экономики замкнутого цикла и потенциальную положительную роль изменения потребительского выбора, который требует меньшего углеродоемкости. В нем также исследовалось, как усилить сток землепользования, чтобы увидеть, насколько он снижает потребность в технологиях с отрицательными выбросами.

Таким образом, моделирование сценариев позволило доработать меры по декарбонизации таким образом, что они смогли обеспечить снижение выбросов на 80-100%, напомним, что в первоначальном варианте они обеспечивали лишь 60% снижения выбросов ПГ к 2050 г. по сравнению с 1990 г.

Оценки моделирования достижения этих целей показали, что недостаточно стимулировать только ВИЭ (включая биотопливо) энергоэффективность, водород и альтернативные виды топлива или новые подходы к мобильности для 100% сокращения выбросов парниковых газов к 2050 г. При таких технологических сценариях выбросы сокращаются только на 80% к 2050 г. по сравнению с 1990 г. Хотя объединение всех этих вариантов может снизить чистые выбросы примерно на 90% (включая поглотители земель и лесного хозяйства), часть выбросов парниковых газов всегда будет оставаться, главным образом в сельскохозяйственном секторе. Достижение нулевых выбросов парниковых газов потребует максимального использования потенциала технологий и экономики замкнутого цикла, широкомасштабного внедрения естественных наземных поглотителей углерода, в том числе в сельскохозяйственном и лесном секторах, а также сдвигов в моделях мобильности. Путь к экономике с нулевым выбросом парниковых газов может быть основан на совместных действиях по набору семи основных стратегических блоков:

Блок 1. Максимизация выгод от энергоэффективности, включая здания с нулевым уровнем выбросов.

Блок 2. Максимизация использования возобновляемых источников энергии и электроэнергии для полной декарбонизации энергоснабжения Европы.

Блок 3. Использование чистой, безопасной мобильности с подключением к Интернету.

Блок 4. Конкурентоспособная промышленность ЕС и циркулярная экономика как ключевой фактор сокращения выбросов парниковых газов.

Блок 5. Разработка интеллектуальной сетевой инфраструктуры.

Блок 6. Использование преимуществ биоэкономики и создание поглотителей углерода.

Блок 7. Устранение остаточных выбросов CO₂ с помощью улавливания и хранения углерода.

Что касается инвестиций, то модернизация и декарбонизация экономики ЕС будет стимулировать значительные дополнительные инвестиции. Сегодня около 2% ВВП инвестируется в энергосистему ЕС и соответствующую инфраструктуру. Этот показатель необходимо увеличить до 2,8% (или около 520-575 млрд евро в год), чтобы достичь чистой нулевой экономики выбросов парниковых газов. Это означает значительные дополнительные инвестиции по сравнению с базовым сценарием в диапазоне от 175 до 290 млрд евро в год. Это также согласуется со специальным отчетом МГЭИК, согласно которому в период с 2016 по

Дальнейшие инвестиции в промышленную модернизацию, преобразование энергии, замкнутую экономику, чистую мобильность, зеленую и синюю инфраструктуру и биоэкономику создадут новые, высококачественные «Зеленые рабочие места»

2035 гг. потребуются инвестиции в энергетическую систему, что составляет около 2,5% мирового ВВП. Однако, например, быстрый переход к экономике замкнутого цикла и изменения в поведении, могут снизить потребность в дополнительных инвестициях.

В то же время, значительные затраты на здравоохранение могут остаться прежними. Сегодня загрязнение воздуха в ЕС вызывает серьезные заболевания и полмиллиона преждевременных смертей ежегодно, причем основными источниками загрязнения являются ископаемое топливо, промышленные процессы, сельское хозяйство и отходы. Эти виды деятельности также являются основными источниками парниковых газов. Достижение чистой нулевой экономики выбросов парниковых газов в дополнение к существующим мерам по загрязнению воздуха сократит преждевременную смертность, вызванную мелкими твердыми частицами, более чем на 40%, а ущерб здоровью - примерно на 200 млрд евро в год.

Даже без нулевых выбросов парниковых газов экономика и общество Европы в 2050 г. будут выглядеть иначе, чем сегодня. Демографические данные показывают, что общество будет стареть, это может сказаться на устойчивости финансовой системы. С другой стороны, население будет лучше подготовлено для работы с информационными и коммуникационными технологиями. Такие тенденции облегчат переход. Общие экономические последствия глубокой трансформации положительны, несмотря на значительные дополнительные инвестиции, необходимые во всех секторах экономики. Ожидается, что к 2050 г. экономика ЕС увеличится более чем вдвое по сравнению с 1990 г., даже после полной декарбонизации. Ожидается, что траектория, совместимая с чистыми нулевыми выбросами парниковых газов, окажет умеренное или положительное влияние на ВВП с предполагаемыми выгодами до 2% ВВП к 2050 г. по сравнению с базовым уровнем. Эти оценки не включают выгоды от предотвращения ущерба от изменения климата и связанные с этим затраты на адаптацию.

Переход будет стимулировать рост в новых секторах. «Зеленые рабочие места» уже составляют 4 млн рабочих мест в ЕС. Дальнейшие инвестиции в промышленную модернизацию, преобразование энергии, замкнутую экономику, чистую мобильность, зеленую и синюю инфраструктуру и биоэкономику создадут новые, местные, высококачественные возможности трудоустройства.

Действия и политика по реализации поставленных ЕС целей в области климата и энергетики на 2020 г. уже увеличили долю занятых в этих секторах с 1% до 1,5% в ЕС, и эта тенденция сохранится. В то время как количество рабочих мест увеличивается в секторах строительства, сельского и лесного хозяйства

Сильно пострадают регионы, экономика которых зависит от деятельности, которая, как ожидается, сократится или будет вынуждена трансформироваться в будущем. Пострадают такие области, как добыча угля, нефти и газа

и возобновляемых источников энергии, для ряда секторов переход может быть болезненным (Рисунок 6).

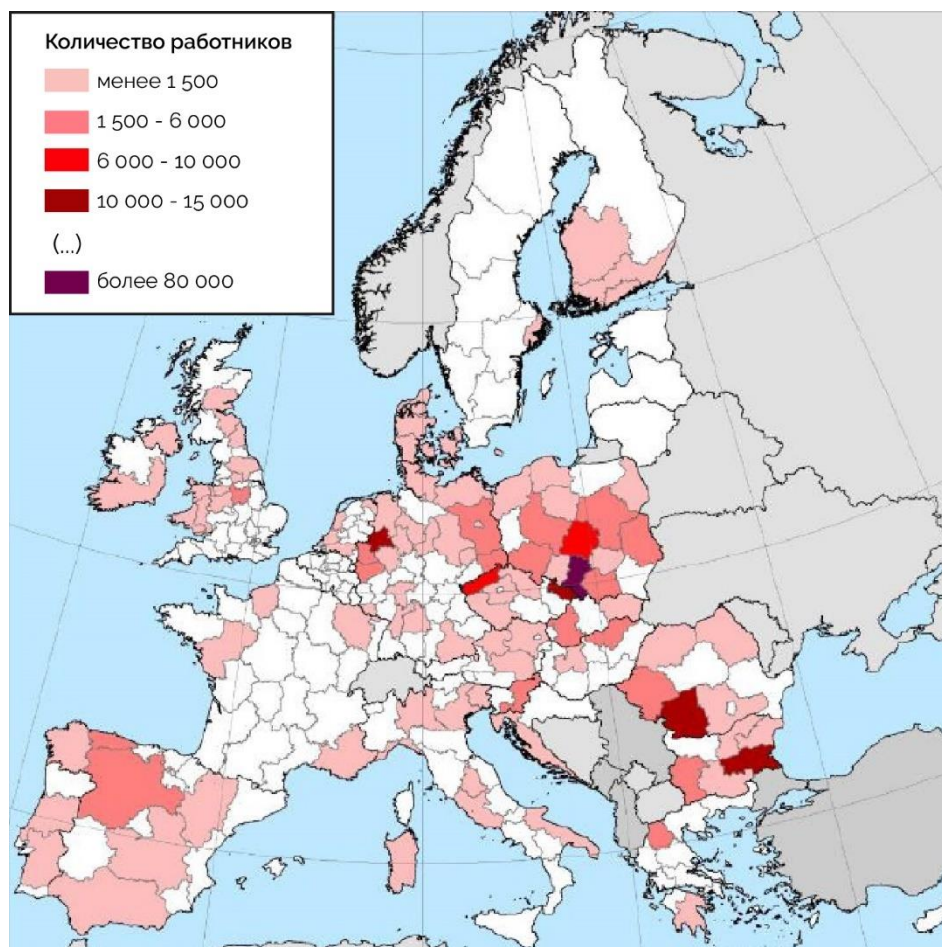
Рисунок 6 - Влияние декарбонизации на различные сектора экономики ЕС

Сектор	Доля от всех рабочих мест в 2015	Диапазон изменения рабочих мест к 2050 году по сравнению с базовым уровнем
Строительство		
Генерация энергии		
Сельское хозяйство		
Сервисы		
Энергоемкие отрасли		
Прочая промышленность		
Добыча полезных ископаемых		

Источник: In-depth analysis in support of COM(2018) 773

Особенно сильно пострадают регионы, экономика которых зависит от деятельности, которая, как ожидается, сократится или будет вынуждена трансформироваться в будущем. Пострадают такие области, как добыча угля, нефти и газа. Энергоемкие отрасли, такие как сталелитейная, цементная и химическая промышленность, а также производители автомобилей увидят переход на новые производственные процессы, требующие новых навыков. 20 регионов, которые экономически зависят от этих секторов, столкнутся с проблемами, многие из которых расположены в Центральной и Восточной Европе (Рисунок 7).

Рисунок 7 - Влияние декарбонизации на работников добывающих отраслей в ЕС



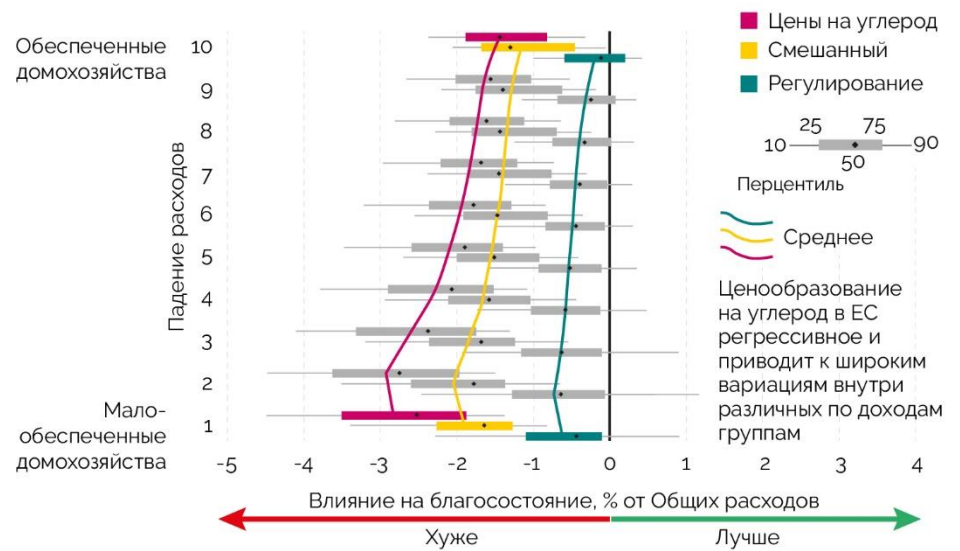
Источник: Alaves Dias et al. (2018), EU coal regions: opportunities and challenges ahead, JRC112593

Другие рабочие места необходимо будет преобразовать и адаптировать к новой экономике. Управление этими изменениями требует учета возможного сокращения и старения рабочей силы в ЕС и растущего замещения рабочей силы в связи с технологическими изменениями, включая цифровизацию и автоматизацию. Например, в сельских районах потребуется поддерживать достаточно квалифицированную рабочую силу для удовлетворения растущих и изменяющихся потребностей в сельском и лесном хозяйстве, несмотря на сокращение численности сельского населения. Для малых и средних предприятий переход — это возможность, но он также создает определенные проблемы, такие как доступ к навыкам и финансам, которые необходимо решить.

Модельный комплекс ЕС позволяет исследовать узкие вопросы, в частности: «Что окажет большее влияние на население: регулирование, углеродные налог или комбинация первого и второго?» или «Какое влияние окажет углеродный налог на различные слои населения в зависимости от доходов?». Моделирование показывает, что углеродный налог окажет наибольшее влияние и больше

всего затронет малообеспеченные слои населения. При этом доходы от углеродного налога могут быть направлены на помощь малоимущим слоям населения и, тем самым, нивелировать проблему (Рисунок 8).

Рисунок 8 – Эффекты декарбонизации на различные социальные группы (без механизмов компенсации)



Источник: Temursho et al. (2020) Distributional impacts of reaching ambitious near-term climate targets across households with heterogeneous consumption patterns. JRC121765

КРАТКИЙ ОБЗОР МОДЕЛЕЙ В РОССИИ

Модели декарбонизации представлены в России в достаточно широком спектре и в различных секторах экономики, в частности: сельское и лесное хозяйство, транспортный сектор, электроэнергетика и теплоэнергетика, промышленность, добыча полезных ископаемых, нефтепереработка, здания

В России также уже на протяжении нескольких десятилетий развивается моделирование сценариев декарбонизации и адаптации. В данном разделе представлен заведомо неполный обзор моделей и модельных комплексов, существующих в стране. Здесь представлен краткий список организаций, которые приняли участие в серии семинаров по моделированию, организованных совместно Еврокомиссией и Центром энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО⁴¹, также дано описание сфер применения этих моделей.

Модели декарбонизации представлены в России в достаточно широком спектре и в различных секторах экономики, в частности: сельское и лесное хозяйство, транспортный сектор, электроэнергетика и теплоэнергетика, промышленность, добыча полезных ископаемых, нефтепереработка, здания.

Научные институты и прочие организации, которые занимаются моделированием сценариев декарбонизации: ИНЭИ РАН⁴², РАНХиГС^{43 44 45}, ОАО НИИАТ (Москва)⁴⁶, ИРНТУ, ЦСР⁴⁷, Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова⁴⁸,

⁴¹ <https://energy.skolkovo.ru/en/senec/media/2198-news-senec-09042020/#:-:text=On%20April%206%2C%20a%20first,scenarios%20took%20place%20by%20vi deoconference.&text=The%20workshop%20had%20several%20sessions.in%20several%20key% 20economic%20areas>.

⁴² SCANNER Super Complex For Active Navigation in Energy Research The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences (ERI RAS) Scientific Editor Academician A. A. Makarov, 2011

⁴³ GLOBIOM documentation P. Havlík, et all, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) 4 June 2018

⁴⁴ 2019 Golub A., Lugovoy O., Potashnikov V.: Quantifying barriers to decarbonization of the Russian economy: real options analysis of investment risks in low-carbon technologies // Climate policy, v. 6, 716-724 pp. <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1570064>

⁴⁵ 2020 Safonov, G., Potashnikov, V., Lugovoy, O., ...Dorina, A., Bolotov, A.: The low carbon development options for Russia (Низкоуглеродные варианты развития России) // Climatic Change, 2020, 162(4), pp. 1929-1945 <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02780-9>

⁴⁶ Донченко, В. В. Введение зон с низким уровнем выбросов в городах, как эффективный инструмент реализации концепции обеспечения экологической устойчивости транспортных систем / В. В. Донченко, М. И. Шаров, В. С. Чижова // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2020. – № 1(60). – С. 106-112.

⁴⁷ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РОССИИ ЭКСПОРТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ, ФИНАНСОВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ, СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ЦЕНТР СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, 2020 ГОД

⁴⁸ Alexandrov, G. A., Brovkin, V. A., Kleinen, T., and Yu, Z.: The capacity of northern peatlands for long-term carbon sequestration, Biogeosciences, 17, 47–54. <https://doi.org/10.5194/bg-17-47-2020>, 2020.

ЦЭНЭФ-XXI⁴⁹ 50 51, ИСЭПН ФНИСЦ РАН, НИТУ "МИСиС", НИУ ВШЭ, ИНП РАН⁵², МЭИ, МАДИ⁵³

Макроэкономические модели представлены в меньшем количестве ввиду их сложности и масштаба их держателями являются: ЦЭНЭФ-XXI⁵⁴, ИПН РАН (влияние климатической политики на экономику России), ИНЭИ РАН (влияние ТЭК на макроэкономику России)⁵⁵.

Модели адаптации также нешироко представлены в российской научной среде, ими занимаются Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля⁵⁶, МЭИ (для электроэнергетики), РАНХиГС (для сельского хозяйства).

Климатическое моделирование также осуществляется российскими коллективами ученых, в частности в: ИВМ РАН⁵⁷, Климатический центр и ИФА РАН⁵⁸.

Большое количество коллективов занимается исследованием процессов и явлений, представляющие собой последствия изменения климата, данная тематика широко представлена следующими институтами: Институтом вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, ИФА им. А.М. Обухова РАН, Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Гидрометцентр, Государственный гидрологический институт, Институт вычислительной математики и математической геофизики, Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичёва ДВО РАН, Институт водных проблем РАН, Лимнологический институт СО РАН, Всероссийский институт агрометеорологии, Институт

⁴⁹И.А. Башмаков. Низкоуглеродная Россия: 2020 год. ЦЭНЭФ. М, 2009. Затраты и выгоды низкоуглеродной экономики и трансформации общества в России: перспективы до и после 2050 г. П/р. И.А. Башмакова. М. ЦЭНЭФ. 2014.

⁵⁰И. А. Башмаков. Стратегия низкоуглеродного развития российской экономики. Вопросы экономики. 2020. № 7. С. 1–24. *Voprosy Ekonomiki*, 2020, No. 7, pp. 1–24.

⁵¹Igor Bashmakov. Improving the Energy Efficiency of Russian Buildings. *Problems of Economic Transition*, vol. 58, nos. 11–12, 2016, pp. 1096–1128;

⁵²А.А. Широков, А.Ю. Колпаков, Экономика России и механизмы глобального климатического регулирования, Журнал Новой экономической ассоциации, №4 (32), с. 87–110

⁵³Trofimenko, Yury & Komkov, Vladimir & Trofimenko, Konstantin. (2020). Forecast of energy consumption and greenhouse gas emissions by road transport in Russia up to 2050. *Transportation Research Procedia*. 50. 698-707. 10.1016/j.trpro.2020.10.082.

⁵⁴Башмаков И.А. Будет ли экономический рост в России в середине 21 века // Вопросы экономики. – 2011. № 3. – С. 20–39

⁵⁵А.М. Лукацкий, В.А. Малахов, Г.В. Федорова Информационно-аналитическая система исследования взаимосвязей энергетики и экономики Препринт WP2/2003/01 Серия WP2 Количественный анализ в экономике, Государственный Университет Высшая школа экономики Москва 2003

⁵⁶Богданович, А. Ю. Синергия климатической глобальной цели устойчивого развития и национального плана адаптации в России / А. Ю. Богданович, О. Н. Липка // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2020. – Т. 31. – № 3-4. – С. 7-32. – DOI 10.21513/0207-2564-2020-3-07-32.

⁵⁷Алексеев В.А., Володин Е.М., Галин В.Я., Дымников В.П., Лысков В.Н. Моделирование современного климата с помощью атмосферной модели ИВМ РАН. М., Препринт ИВМ РАН. 1998. 180с

⁵⁸Мохов, И. И. Российские климатические исследования в 2003–2006 гг / И. И. Мохов // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2009. – Т. 45. – № 2. – С. 180–192.

экологии и эволюции им. Северцова РАН, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Институт леса им. Сукачева СО РАН, Почвенный институт Докучаева, Институт географии РАН, Центр экологии и продуктивности лесов РАН, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Институт глобального климата и экологии им. академика Ю. А. Израэля, Институт прикладной физики РАН, Институт оптики атмосферы им. Зюева СО РАН, Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, НИИ физико-химии им. Карпова.

Учитывая географическое положение страны, в России активно разрабатываются модели, касающиеся Арктики и зоны вечной мерзлоты. Они охватывают широкий спектр тем, от прикладных – сколько грузов может пройти по Северному морскому пути, до обеспечения здоровья населения. Данная тематика представлена следующими институтами и организациями: ЦСР, ИНП РАН, ТИГ ДВО РАН, Институт мерзлотоведения имени П. И. Мельникова СО РАН, Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Институт геоэкологии имени Е. М. Сергеева РАН, Томский Государственный Университет, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт.







Также со стороны научного сообщества большое внимание уделяется тематике натуральных поглотителей углерода (леса, почва, болота и т.д.), в частности, этими вопросами занимаются Научный совет РАН по глобальным экологическим проблемам, МГУ, Институт глобального климата и экологии им. академика Ю. А. Израэля, НИИ почвоведения, ЦЭПЛ, ИКИ, Казанский федеральный институт, ИФА им. А.М. Обухова РАН, ИВП РАН.




Российские модели достаточно хорошо покрывают транспортный сектор (особенно сегмент дорожной транспортировки) и потребность в топливе в этом сегменте, энергетику и нефтегазовый сектор

На данном этапе, информация, предоставленная участниками семинаров по моделированию EU-Russia modelling workshop, дала возможность получить описание 30 моделей. Российские модели достаточно хорошо покрывают транспортный сектор (особенно сегмент дорожной транспортировки) и потребность в топливе в этом сегменте, энергетику (и производство тепла) и нефтегазовый сектор. В целом остальные секторы экономики также охвачены, но требуют детализации, особенно в области промышленного сектора, который представлен лишь корпоративными стейкхолдерами. При этом анализ показывает нехватку адаптационных, макроэкономических и сельскохозяйственных моделей (Таблица 4).

С региональной точки зрения модели хорошо покрывают Россию и регионы, однако глобальных моделей мало. С точки зрения временного горизонта, большинство моделей работает с периодом до 2050 г., за 2050 г. моделирование не ведется.

Таблица 6 - Укрупненная таблица российского модельного ландшафта

Сектор	Состояние
Сельское и лесное хозяйство	
Энергетика	
Транспорт	
Промышленность	
Здания	
Социальная безопасность	

 нехватка моделей  модели присутствуют  большой пул моделей

Источник: составлено по материалам участников семинаров по моделированию EU-Russia modelling workshop

Недостатком российских моделей является то, что большая их часть разрознена и стоит особняком друг от друга, а, как было показано в предыдущих разделах, для задач декарбонизации экономики или ее адаптации к изменениям климата модели должны работать в комплексе.

Важно наличие ансамбля моделей, который позволит обеспечить сравнение моделей. Сравнение моделей – крайне важный параметр, который повышает доверие к ним как со стороны научного сообщества, и в особенности со стороны лиц, принимающих решения. Такую практику, к примеру, использует Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) в своих оценочных докладах.

Значение сравнения и верификации различных моделей для развития всей системы на примере ансамбля моделей «Углеродное плато»

В 2014 г. ЦЭНЭФ проанализировал модели и прогнозы выбросов парниковых газов в России, помимо российских моделей были включены результаты сценариев МЭА из работы «Перспективы энергетических технологий 2012». Анализ позволил выявить 30 сценариев (в основном для сектора энергетики), которые позволили покрыть все поле возможных решений: от медленного до динамичного экономического роста, и от применения только действующих мер по контролю над выбросами до решительных мер.

Сравнение всех полученных сценариев показало, что с большой вероятностью выбросы парниковых газов в энергетике в России до 2060 г. выйдут на абсолютный верхний предел, который на 11% будет ниже объема выбросов 1990 г. При этом чем более широкий набор мер по контролю над выбросами ПГ будет использоваться, тем ниже окажется верхний предел выбросов ПГ в секторе энергетика. Еще один вывод из анализа сценариев «Углеродное плато» показывает, что меры и политики по ограничению выбросов ПГ не тормозят экономический рост.

При сравнении параметров моделей важно учитывать следующие параметры: экзогенные параметры, эндогенные параметры, параметры изменения внутренней системы, и параметры изменения системы в окружающей среде, параметры ограничения системы⁵⁹.

⁵⁹ По данным презентации И.А. Башмакова на 6-th EU-Russia modelling workshop, 8 апреля 2021 г.

При моделировании или сравнении российских моделей с зарубежными важно учитывать некоторые особенности России. Первая особенность – территориальная и климатическая. Так, при моделировании поглощения и эмиссии CO₂ в России необходимо учитывать большой объем лесов, болот, а также территории, находящиеся в зоне вечной мерзлоты – данный факт будет сильно влиять на входные данные моделей, уровень ожидаемых выбросов в данном глобальном контексте изменения климата, а также на подбор митигационных мер.

При моделировании или сравнении российских моделей с зарубежными важно учитывать следующие особенности России:

1. большой объем лесов, болот, а также территории, находящиеся в зоне вечной мерзлоты.
2. структуру экспорта и импорта

Вторая особенность – структура экспорта и импорта. Россия экспортирует углеводороды, а затем за счет валютных доходов импортирует не только товары широкого потребления, которые не производятся в стране, но и товары и оборудование, необходимые для добычи углеводородов, которые на данном этапе не удалось локализовать и производить на территории России.

Зависимость бюджета от экспорта углеводородов поднимает важный вопрос для моделирования: каким образом российская экономика будет проходить через потерю экспортных доходов и за счет каких средств страна будет импортировать низкоуглеродные технологии?

Дальнейшие перспективы развития моделирования сценариев декарбонизации и адаптации в России пока неясны. Российские регуляторы уже понимают важность исследований в данном направлении (изменении климата) и моделирование сценарии адаптации и митигации, с нашей точки зрения оно должно стать частью этих исследований.

В феврале 2021 г. президент России подписал указ о разработке Федеральной научно-технической программы в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021-2030 гг., предусматривающую создание наукоемких технологических решений, направленных на обеспечение экологической безопасности, улучшение состояния окружающей среды; на изучение климата, механизмов адаптации к климатическим изменениям и их последствиям, а также на обеспечение устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов путем проведения исследований источников и поглотителей парниковых газов и принятия мер по уменьшению негативного воздействия таких газов на окружающую среду.

Фактически, согласно этому документу, приоритетными научно-технологическими направлениями становятся разработка механизмов адаптации к изменениям климата (напомним, что согласно первичной информации о модельных комплексах в России, полученной от участников семинаров, модели адаптации слабо развиты в России) и использование

естественных поглотителей парниковых газов. При этом про технологии, механизмы и сценарии декарбонизации в документе не говорится.

Документ предполагает создание и развитие на базе научных и образовательных организаций научных, научно-образовательных центров и лабораторий, осуществляющих исследования в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений, техническую поддержку таких исследований и подготовку кадров в этой области, в том числе с привлечением частных инвесторов.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

На фоне растущей обеспокоенности проблемами изменения климата, во всем мире моделирование сценариев декарбонизации и адаптации к изменениям климата уже становится неотъемлемой частью формирования долгосрочной стратегии для политиков, их регуляторов, для компаний, для финансовых и некоммерческих организаций. Решение проблемы изменения климата уже не может сводиться к декларациям на бумаге - оно облекается в реальные меры и шаги (например, введение углеродного налога), которые оказывают влияние на экономику как на региональном, так и на глобальном уровне.

Моделирование сценариев адаптации и декарбонизации становится критичным для лиц, принимающих решения, поскольку позволяет обосновать ту или иную политику в области декарбонизации, адаптации и регулирования эмиссии парниковых газов, ответить на интересующие вопросы и помочь выработать необходимые меры и шаги для достижения принятых целей. С технической точки зрения современные модельные инструментариумы – это сложные комплексы из взаимосвязанных и различных по подходам построения (снизу-вверх, сверху-вниз, интегрированные) моделей,

Для построения подобных моделей, а точнее, модельных комплексов, требуется мультидисциплинарный подход и усилия различных научных коллективов: от климатологов до специалистов в конкретных отраслях промышленности. Только партнёрство и кооперация, причем не только внутри одной страны, но и на глобальном уровне, позволят создать наиболее полноценный комплекс моделей, отвечающих сегодняшним требованиям. При этом для создания подобных модельных комплексов недостаточно научной базы - крайне важно участие и стимулирование со стороны государства. Причем важен не только финансовый аспект, но и формирование запроса и постановка цели от основного стейкхолдера. Так, в ЕС уже создана подобная система моделирования для Еврокомиссии. Данную систему можно разделить на два крупных инструментария: инструментарий для построения сценариев адаптации и инструментарий для разработки сценариев декарбонизации. Отметим, что сценарии адаптации и декарбонизации для Еврокомиссии делаются в едином научном хабе JRC. При этом сам хаб функционирует по принципу распределенных исследований, которые проводятся во многих организациях, часть из которых входит в JRC, а часть может и не входить и просто предоставлять свои модельные инструменты для построения сценариев.

Анализ российских моделей и модельных комплексов показал, что академическими институтами достаточно глубоко

проработано моделирование сценариев декарбонизации в области ТЭК, на долю которого приходится более 2/3 выбросов парниковых газов в России, и в транспортном секторе. Сектора сельского хозяйства и промышленности покрыты в меньшей мере, моделирование в промышленности, к примеру, представлено только корпоративными стейкхолдерами. Адаптационные модели фрагментированы по регионам страны и по секторам.

Для России данная проблематика особенно актуальна, так как разворачивающийся на основных рынках сбыта нашей экспортной продукции энергопереход, Зеленый Курс ЕС, а также новая климатическая политика администрации Байдена и Китая, создают огромные вызовы исторически сложившейся углеводородной и ресурсной модели российской экономики. Нам предстоит найти новые точки роста, встроиться в новые глобальные цепочки создания стоимости, заточенные на низкоуглеродные источники энергии. При этом декарбонизация собственной экономики и инвестиции в адаптацию к неизбежным изменениям климата также требуют тщательного планирования и координации.

Учитывая масштаб и роль ТЭК и энергоемких отраслей в экономике РФ, программы декарбонизации необходимо выстраивать в межотраслевой координации и с учетом интересов и приоритетов крупнейших мегаполисов и регионов страны.

Развитые модельные комплексы и выстроенный на их основе диалог между бизнесом, органами власти и представителями научного сообщества (климатологами, отраслевыми институтами, социологами, политологами) – необходимые условия для того, чтобы не опоздать и закрепить место экономики РФ в новом мировом технологическом укладе

На сегодняшний день ресурсы, направленные в понимание эффектов мирового энергоперехода и климатических изменений, а также их эффектов на экономику РФ и прогнозирование будущих сценариев низкоуглеродного развития РФ, выглядят существенно меньшими, чем за рубежом. Кроме того, практикуется формирование стратегий «снизу-вверх», когда национальная стратегия в той или иной области строится за счет корпоративных инициатив отраслевых компаний. Энергетическая стратегия РФ до 2035 г., принятая в июне 2020 г., практически не адресуется ни к климатическим рискам, ни к рискам энергоперехода. Стратегия низкоуглеродного развития РФ до 2050 г. пока только обсуждается, и не вполне понятна ее связь с научно обоснованными моделями различных институтов РАН. При таком подходе, мы рискуем упустить время, необходимое для формирования проработанной и взвешенной позиции, и оказаться неготовыми к переговорам с более подготовленными международными партнерами.

Кроме того, как в бизнес-сообществе, так и среди населения распространены неполные или ошибочные представления о климатических изменениях, энергопереходе и их последствиях для РФ.

На наш взгляд, необходимо:

- Инвестировать в дополнение национального ансамбля моделей для моделирования адаптации к климатическим изменениям и разработки стратегии развития РФ, что создаст базу для разработки сценариев смягчения последствий изменения климата, а также сценариев адаптации в контексте низкоуглеродной мировой экономики, а также расширять круг научно-исследовательских коллективов, работающих над данной проблематикой, за счет создания моделей с открытым кодом.
- Создать площадку для комплексного обсуждения выводов, как между представителями научного сообщества, так и между научным сообществом, бизнесом и органами государственной власти.
- Запустить образовательные программы популяризации знаний о климате, энергопереходе и возможных направлениях климатической стратегии страны и отдельных индустрий.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ОПИСАНИЕ МОДЕЛЕЙ, ВХОДЯЩИХ, В МОДЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ЕС

Модель PRIMES

Цель модели:

PRIMES считает прогнозы спроса, предложения, цен и инвестиций в энергетику в будущем, охватывая весь ТЭК, включая выбросы для каждой отдельной европейской страны и для общеевропейской торговли энергоносителями

Методология:

PRIMES – интегрированная модель, которая сочетает в себе поведенческое моделирование на микроэкономической основе и инженерные, и системными аспекты, охватывающие все секторы и рынки.

Целевая функция:

Математически PRIMES решает задачу EPEC (устойчивости равновесия), которая позволяет определять цены.

Временной горизонт	Географический охват	Секторальный охват	Входные данные	Выходные данные
2010–2050 гг. шаг 5 лет	Государства-члены ЕС + Норвегия, Швейцария и Босния и Герцеговина	<ul style="list-style-type: none"> Промышленность, третичный сектор, коммерчески и бытовой сектор, транспорт, теплоэлектрогенерация производство: газа, нефтепродуктов и биотоплива 	<p>ВВП и экономический рост по секторам</p> <p>Перспективы мирового энергоснабжения - мировые цены на ископаемое топливо</p> <p>Налоги и субсидии</p> <p>Процентные ставки, премии за риск и т. д.</p> <p>Экологическая политика и ограничения</p> <p>Технико-экономические характеристики будущих технологий</p> <p>Привычки потребления энергии, параметры комфорта, рациональное использование энергии и сбережения, потенциал энергоэффективности</p> <p>Параметры кривых предложения первичной энергии, потенциал площадок для новых электростанций, потенциал ВИЭ по типам источников и т.д.</p>	<p>Энергетические балансы</p> <p>Прогнозы спроса по секторам, включая услуги, оборудование и экономию энергии</p> <p>Баланс электроэнергии/ тепла, включая выработку электростанций, хранение и работу системы</p> <p>Производство топлива</p> <p>Инвестиции во все отрасли, спрос и предложение, технологии разработки, устаревание</p> <p>Транспорт по видам</p> <p>Затраты на энергию, цены и инвестиционные расходы по секторам и в целом</p> <p>Выбросы CO₂ от сжигания энергии и промышленных процессов</p> <p>Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу</p> <p>Показатели оценки политики</p>

Модель GAINS

Цель модели:

Оценка выбросов загрязнителей воздуха и ПГ и их взаимодействия. GAINS используется как часть стандартной модели моделирования для переговоров в рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния и Европейского Союза.

Методология:

В основу оценки выбросов положена методология, близкая к упрощенной методологии Руководства ЕМЕП/ЕЕА по инвентаризации и проектированию выбросов. Оптимизационная модель определяет, где выбросы могут быть сокращены наиболее рентабельно.

Целевая функция:

GAINS можно использовать двумя способами:

1. В режиме «сценарного анализа» она отслеживает пути выбросов от источников до воздействий, предоставляя оценки региональных затрат и экологических выгод от альтернативных стратегий контроля выбросов.
2. В режиме «оптимизации» модель определяет, где выбросы могут быть сокращены наиболее рентабельно.

Временной горизонт	Географический охват	Секторальный охват	Входные данные	Выходные данные
1990-2050 гг, шаг 5 лет	Европа (для 48 стран) Азия, с отдельными реализациями для Китая (31 провинция и Индия (15 штатов)) Для стран Приложения I к Конвенции РКИК ООН	По видам топлива, энергетика и транспорт по секторам и видам, прочие процессы, выбросы аммиака, НМЛОС	<ol style="list-style-type: none"> 1) производственно-экономические показатели, характеризующие экономическую деятельность; 2) параметры, характеризующие выбросы (удельные показатели выбросов загрязняющих веществ (без очистки) от основных процессов (секторов); 3) параметры, характеризующие технологии снижения выбросов (например, тип пылегазоочистной установки и ее эффективность). 4) Политики на национальном уровне 	Выбросы по секторам и источникам выбросов

Модель GLOBIOM - G4M

Цель модели:

Модель представляет различные виды деятельности, связанные с землепользованием, включая сельское хозяйство, лесное хозяйство и биоэнергетику. Применяется для прогнозирования с/х и лесных рынков, анализа экономического воздействия изменения климата и адаптации, а также для широкого спектра целей устойчивого развития.

Методология:

GLOBIOM - это глобальная рекурсивно динамическая модель частичного равновесия. Модель строится по восходящей схеме на основе подробной детализации, предоставляя биофизическую и техническую информацию о стоимости.

Целевая функция:

Равновесие на рынке достигается путем максимизации суммы излишков производителя и потребителя с учетом ресурсных, технологических и политических ограничений.

Временной горизонт	Географический охват	Секторальный охват	Входные данные	Выходные данные
2000-2050 гг, шаг 10 лет	Глобальная модель, 50 регионов мира с дезагрегацией	Сельскохозяйственное и лесное производство, производство биоэнергии	геопространственные данные о почве, климате / погоде, топографии, растительном покрове / использовании и управлении урожаем ВВП, рост населения и потребление калорий на душу населения. Технологии улучшения урожайности. Цели по выпуску биотоплив	Биомасса по видам, учет выбросов и стоков парниковых газов в результате сельскохозяйственной и лесохозяйственной деятельности

Модель PROMETHEUS

Цель модели

Генерация стохастической информации для ключевых энергетических, экологических и технологических переменных:

- Долгосрочная реструктуризация энергосистем
- Ресурсы ископаемого топлива и расчет мировых цен на топливо
- Измерение неопределенности, относящейся к развитию энергетической системы.
- Полный охват всех секторов энергетики в мире
- Индивидуальное моделирование основных глобальных источников выбросов углерода

Методология

Уравнения в PROMETHEUS представляют эндогенные переменные модели как функцию других эндогенных переменных, экзогенных переменных, параметров и остаточных членов. Все эндогенные переменные являются стохастическими и отображают ковариацию, происхождение которых прослеживается с помощью модели. Выходные данные состоят из эмпирических совместных распределений всех эндогенных переменных, полученных с помощью метода Монте-Карло.

Временной горизонт	Географический охват	Входные данные	Выходные данные
2008-2050 гг. с шагом в год	<ol style="list-style-type: none"> ОЭСР-Европа NMS-12, новые члены Европейского Союза (Чешская Республика, Словакия, Словения, Мальта, Кипр, Польша, Венгрия, Латвия, Литва, Эстония, Болгария и Румыния) Северная Америка Западная часть Тихого океана, включая Японию, Австралию и Новую Зеландию. Индия Китай Бывший Советский Союз, за исключением прибалтийских республик. Ближний Восток (от Средиземного моря до иранской границы с Афганистаном и Пакистаном) и Северная Африка (Египет, Ливия, Тунис, Алжир, Марокко) Развивающиеся страны, в том числе Латинской Америки и Юго-Восточной Азии <p>Остальной мир, в который входят наименее развитые страны.</p>	<p>Население и рабочая сила</p> <p>ВВП и экономический рост по регионам</p> <p>Экономические показатели (добавленная стоимость в промышленности, доход домашних хозяйств)</p> <p>Мировые запасы и ресурсы ископаемого топлива (для традиционных и нетрадиционных ресурсов нефти и газа)</p> <p>Налоги и субсидии на энергоносители</p> <p>Технологические стандарты</p> <p>Регулирование энергоэффективности и выбросов CO₂.</p> <p>Технико-экономические характеристики технологий энергетики, транспорта и производства электроэнергии</p> <p>Кривые предложения и ограничения наличия топлива (например, потенциал возобновляемых источников энергии, внутренние запасы и ресурсы ископаемого топлива, ограничения импорта, потенциал площадок для атомных и гидроэлектростанций)</p> <p>Целевые показатели выбросов, возобновляемых источников энергии и энергоэффективности</p>	<p>Подробные балансы спроса и предложения энергии для каждого региона</p> <p>Спрос на энергию по секторам (промышленность, жилищный сектор, транспорт) и по продукту / форме энергии</p> <p>Транспортная деятельность, топливо и легковые автомобили</p> <p>Подробная структура производства электроэнергии по технологиям</p> <p>Производство ископаемого топлива (традиционного и нетрадиционного)</p> <p>Цены на энергию за топливо в результате рыночного равновесия</p> <p>Выбросы CO₂ от сжигания ископаемого топлива</p> <p>Показатели оценки политики (например, коэффициент углеродоемкости, доли ВИЭ, индексы энергоэффективности и т. д.)</p>

Модель GEM-E3

Цель модели:

Расчет взаимодействия между экономикой, энергетикой и окружающей средой. Это комплексная модель экономики, производственных секторов, потребления, ценообразования на товары, труда и капитала, инвестиций и динамического роста. Модификация модели GEM-E3, которая основана на базе данных CAGE применяется для оценки климатических последствий в PESETA IV

Методология:

Модель полного равновесия. Модель формулируется как одновременная система уравнений с равным числом переменных. Система решается на каждый год с опережением по времени.

Целевая функция:

Максимизация полезности потребителями и прибыли производителями

Временной горизонт	Географический охват	Секторальный охват	Входные данные	Выходные данные
2004, 2007, 2011, 2014-2050 гг. с шагом в 5 лет	37 регионов, включая 27 стран ЕС по странам, США, Японию, Канаду, Океанию, СНГ, остальные страны, Бразилию, Китай, Индию, страны Средиземноморья и Персидского залива и т.д	Все производственные секторы (сельское хозяйство, уголь, газ, нефть, черные металлы, цветные металлы, неметаллические минералы, химические товары, бумажные изделия, электроэнергетика (уголь, нефть, газ, CCS уголь, CCS газ, биомасса, ядерная энергетика, PV, гидроэнергетика, ветер), транспорт (воздушный, наземный, водный), транспортное оборудование, другое оборудование, электрические товары, производство потребительских товаров, строительство, рыночные услуги нерыночные услуги);	База данных GTAP и Eurostat, с данными по экономике	Динамические годовые прогнозы объема, стоимости и дефляторов национальных счетов по странам. Полные таблицы затрат-выпуска для каждой страны/региона, указанного в модели Распределение доходов и трансфертов в виде матрицы социального учета по странам. Занятость, капитал, инвестиции по странам и секторам. Парниковые газы, выбросы в атмосферу, капитал для борьбы с загрязнением, покупка разрешений на загрязнение и возмещение ущерба. Матрица потребления по продуктам и матрица инвестиций по отраслям собственности. Государственные финансы, налоговые поступления и доходы по странам. Полные матрицы двусторонней торговли.

Модель CAPRI

Цель модели:

оценить ожидаемое влияние общей сельскохозяйственной политики и торговой политики на производство, доход, рынки, торговлю и окружающую среду от глобального до регионального масштаба.

Методология:

CAPRI предназначен для анализа сценариев. Это сравнительная статическая модель, которая технически означает, что рыночное равновесие, смоделированное для заданного момента времени, не включает запаздывания или опережения эндогенных переменных. Если моделируются несколько моментов времени, эти модели могут выполняться в любом порядке или параллельно. CAPRI построен на комбинированном подходе «сверху вниз» и «снизу вверх».

Целевая функция:

Рыночные равновесия рассчитываются путем итераций между модулем предложения и модулем рынка.

Географический охват	Секторальный охват	Входные данные	Выходные данные
ЕС-27 + Норвегия + Западные Балканы + Турция):	охватывает около 280 регионов (уровень NUTS 2) или даже до десяти типов хозяйств для каждого региона (всего 2450 фермерских региональных моделей, ЕС27)	<p>Посевные площади, размеры стада и производство</p> <p>Инструменты сельскохозяйственной политики (квоты / отложенные / надбавки)</p> <p>Показатели дохода по видам деятельности и регионам</p> <p>Балансы хозяйств / рынка и цены за единицу на национальном уровне</p> <p>Переменные политики на региональном/национальном уровне (премии, резервы, квоты ...) и уровне ЕС (тарифы, административные цены ...)</p> <p>Фермерские и рыночные балансы, экономические счета для</p> <p>Цены на сельское хозяйство и связанные с ним цены на уровне государств-членов</p> <p>рыночные балансы, тарифы, преференциальные торговые соглашения, двусторонние торговые потоки</p>	Спрос, предложение и торговля на 60 сельскохозяйственных и переработанных продуктов

Модель POLES

Цель модели:

Комплексная модель мирового предложения, спроса и цен на энергию. Она обеспечивает количественный, основанный на сценариях, эмпирический анализ энергетического сектора для ключевых заинтересованных сторон: частных компаний, правительств, международных организаций.

Методология:

POLES - это интегрированная имитационная модель частичного равновесия мировой энергетики и экономики энергетического сектора с полным спектром моделирования от добычи до конечного спроса и выбросов парниковых газов. Она моделирует динамику технологий и следует парадигме моделирования дискретного выбора в процессе принятия решений. Модель определяет доли рынка (портфельный подход) конкурирующих технологий и топлив на основе их относительной стоимости и производительности, а также учитывает не связанные с затратами элементы, такие как предпочтения или госполитику.

POLES-JRC охватывает весь энергетический сектор, от производства до торговли, преобразования и конечного использования для широкого спектра видов топлива и секторов. Кроме того, охватываются неэнергетические парниковые газы, а также загрязнители воздуха, независимо от того, связаны ли они с энергетическим сектором или с другой экономической деятельностью.

Целевая функция:

Рыночное равновесие

Временной горизонт	Географический охват	Секторальный охват	Входные данные	Выходные данные
1990-2050 гг. шаг один год	54 страны-потребителя + 12 регионов; включая все 28 стран-членов ЕС и окрестности ЕС (Норвегия, Исландия, Швейцария, Турция)	Рынки нефти, газа, угля и биомассы Спрос на топлива, атомную энергию, гидро, биомассу, ВИЭ Сектор трансформации энергии Сектора: промышленность, транспорт, здания, сельское хозяйство	Ресурсы, макроэкономика, технологии, климатическая и энергетическая политика	Международные цены, потребление, добыча, эмиссия ПГ

Модель LISFLOOD

Цель модели:

Модель LISFLOOD - это гидрологическая модель дождевых стоков, которая способна моделировать гидрологические процессы, происходящие в районе водосбора. Модель может:

- Прогнозировать наводнения
- Оценить воздействия мер регулирования рек
- Оценить последствия изменения землепользования
- Оценить последствия изменения климата

Методология:

Модель предназначена для применения в широком диапазоне пространственных и временных масштабов. Можно моделировать долгосрочный водный баланс (с использованием ежедневного временного шага), а также отдельные события наводнения (с использованием часовых временных интервалов или даже меньших).

Входные данные	Выходные данные
<p>входные метеорологические переменные Дождь и снег Индекс морозостойкости почвы субсеточная изменчивость земного покрова таяние снега инфильтрация, испарение и поглощение воды растительностью, поверхностный сток, обход почвенного слоя обмен почвенной влаги между двумя слоями почвы и дренаж в грунтовые воды, поток подземных и подземных вод, а также поток через русла рек</p>	<p>Основным выходным продуктом модели является сток воды в руслах рек, все внутренние переменные скорости и состояния (например, влажность почвы) также могут быть записаны как выходные данные. Кроме того, все выходные данные можно записать в виде сеток или временных рядов в определенных пользователем точках или областях.</p>

Модель WOFOST

Цель модели:

Представляет собой имитационную модель для количественного анализа роста и урожайности однолетних полевых культур.

Методология:

Это имитационная, динамическая модель, которая объясняет ежедневный рост сельскохозяйственных культур на основе основных процессов, таких как фотосинтез, дыхание, и того, как на эти процессы влияют условия окружающей среды.

Целевая функция:

Модель имитирует рост с/х культур во взаимодействии с окружающей средой, включая погоду, почву и агроуправления

Временной горизонт	Географический охват	Секторальный охват	Входные данные	Выходные данные
	Мир	Сельскохозяйственный комплекс	Урожайность, площадь посадок, Погода, Почва, питательные вещества,	общая биомасса сельскохозяйственных культур и урожайность сельскохозяйственных культур, а также такие переменные, как площадь листьев и использование воды растениями.

Источники: PRIMES MODEL 2013-2014 Detailed model description E3MLab/ICCS at National Technical University of Athens, Сайт Еврокомиссии (https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/analysis/models_en), Описание модели GLOBIUM https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/analysis/models/docs/globiom_en.pdf, Short Description of the GEM-E3 model (https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/analysis/models/docs/gem_e3_en.pdf), GEM-E3 Model Documentation (<https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/gem-e3-model-documentation>), PROMETHEUS MODEL A tool for the generation of Stochastic Information for Key Energy, Environment and Technology Variables (https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/analysis/models/docs/prometheus_en.pdf), описание модели CAPRI (<https://www.capri-model.org/dokuwiki/doku.php>), ПРОЕКТ JRC PESETA IV, POLES-JRC model documentation 2018 update Despres, J., Keramidis, K., Schmitz, A., Kitous, A., Schade.