

СЦЕНАРИИ И ЦЕНА ПЕРЕХОДА К НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ В РОССИИ

© 2022 г. А. А. Макаров*

Институт энергетических исследований РАН (ИНЭИ РАН), Нагорная ул., д. 31, корп. 2, Москва, 117186 Россия

*e-mail: info@eriras.ru

Поступила в редакцию 15.02.2022 г.

После доработки 20.03.2022 г.

Принята к публикации 23.03.2022 г.

Уже полвека в мировой политико-экономической повестке доминирует концепция декарбонизации, и Россия, несмотря на неполноту ее научного обоснования и очевидные угрозы развитию экономики и энергетики страны, недавно примкнула к ней. Представлен базовый (экстраполяция самого оптимистичного из последних, утвержденных правительством) сценарий развития экономики страны до 2050 г., выполнена его трансформация в сценарий ускоренной декарбонизации энергетики (интенсивный). Для этих сценариев разработаны прогнозы потребления основных видов топлива и электроэнергии и оптимизированы необходимые объемы производства всех видов первичной энергии с учетом трансформации мировых энергетических рынков. Показаны темпы и объемы свертывания добычи нефти и особенно угля, роль газа в переходе к низкоуглеродной энергетике, достижимые объемы и структура производства неуглеродной энергии. Расчеты необходимых объемов инвестиций в топливно-энергетический комплекс (ТЭК) и вклада добавленной стоимости его отраслей в валовый внутренний продукт (ВВП) страны показали, что в интенсивном сценарии с 2030-х годов ТЭК теряет ведущую роль в российской экономике. Доминирование в нем по вкладу в экономику переходит от нефтегазового комплекса к электроэнергетике, а объемы выбросов парниковых газов (ПГ) могут сократиться до уровня углеродной нейтральности к середине 50-х годов (при сохранении существующей поглощающей способности лесов). Декарбонизация энергетики на три года замедлит (относительно базового сценария) рост экономики России в 2030–2050 гг., и ее цена для завершения энергетического перехода будет еще больше. Произошедший после завершения исследования и подготовки статьи слом геополитической ситуации серьезно изменит сценарии развития экономики и энергетики России и, возможно, даже принятую парадигму потепления климата. Но сохранится изложенная здесь методология исследования и оценки степени влияния основных факторов низкоуглеродной политики на энергетику и экономику страны.

Ключевые слова: декарбонизация, экономика, топливно-энергетический комплекс, низкоуглеродная энергетика, топливо, неуглеродные энергоресурсы

DOI: 10.56304/S0040363622100058

Естественным продолжением возникшей с началом промышленной революции в XVIII в. тенденции повышения ценности используемой человечеством первичной энергии [1] считался энергетический переход от сжигания органического топлива к использованию сначала атомной и затем термоядерной энергии. Но быстрое исчерпание ведущими экономиками мира — США и Европейским союзом — своих дешевых ресурсов углеводородного топлива и стремление сохранить лидерство в производстве энергетического оборудования подвигли эти страны объявить использование угля, нефти и газа главной причиной наблюдаемого последние 40 лет потеп-

ления климата планеты¹ и порождаемых этим грядущих катаклизмов. Организованное США и Европейским союзом политическое давление и мощное экономическое стимулирование “зеленой энергетики” (солнца и ветра, которые имеют самые низкие показатели ценности энергии) преобразили смысл энергетического перехода в процесс декарбонизации мировой энергетики (в со-

¹ При этом игнорируются еще не вполне изученные, но явно существенные для климата факторы (в частности, естественные вариации орбитальных параметров планет Солнечной системы), подтвержденные историческими фактами (земледелие Гренландии в IX в. и др.).

Таблица 1. Основные показатели базового (в знаменателе) и интенсивного (в числителе) сценариев развития экономики России (по [10, 11] и расчетам ИНЭИ РАН)

Показатель	Год							Потери
	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050	
Численность населения, млн чел.	147.2	147.6	$\frac{148.3}{148.5}$	$\frac{148.8}{149.2}$	$\frac{149.2}{149.8}$	$\frac{149.5}{150.4}$	$\frac{149.7}{150.9}$	-1.2
Валовой внутренний продукт, %	100	111	$\frac{128}{130}$	$\frac{147}{151}$	$\frac{169}{176}$	$\frac{192}{204}$	$\frac{216}{236}$	-20.0
Потребление семей, %	100	113	$\frac{130}{132}$	$\frac{149}{154}$	$\frac{171}{178}$	$\frac{194}{206}$	$\frac{217}{238}$	-21.0

ответствии с целями устойчивого развития ООН и Парижским соглашением по климату²).

Вероятно, по политическим соображениям³ Россия стала участником мирового процесса декарбонизации: ратифицировала Парижское соглашение, поспешно приняла национальную стратегию низкоуглеродного развития [2], разрабатывает водородную и энергетическую стратегии и другие документы стратегического планирования на период до 2050 г.

Пути и следствия декарбонизации экономики страны – важная тема научных публикаций [3–8], но ее способы и цена для энергетики России еще требуют должной оценки. Под этим понимается определение состава мер и объема затрат, необходимых для низкоуглеродной трансформации отраслей ТЭК и энергетического хозяйства потребителей топлива, а также порождаемых ею измененных темпов развития экономики России. В данной статье представлены результаты второго подхода ИНЭИ РАН (первый описан в [9]) к исследованию этой сложной проблемы.

РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ТЭК

Численность населения, темпы роста ВВП и другие основные показатели базового сценария правительственного Прогноза социально-экономического развития России до 2036 г. [10] были скорректированы по данным [11] на период до 2024 г. Их экстраполяция до 2050 г. с использованием комплекса моделей SCANNER [12] позволила сформировать базовый сценарий развития экономики России (табл. 1), определить тенденции изменения энергоемкости ее экономики (рис. 1) и базовую динамику внутреннего спроса России на первичную энергию и электроэнергию до 2050 г. Эта информация использована при оптимизации

базового сценария развития мировых энергетических рынков до 2050 г. [13] для определения экономически эффективных направлений, размеров и равновесных цен российского экспорта основных видов топлива.

По данным о внутреннем и внешнем энергопотреблении России и ценах на топливо и энергию разработан базовый сценарий развития производства топлива и энергии для обеспечения потребностей страны и на экспорт. Из опыта предыдущих исследований [14] экспертно оценено возможное замедление роста ВВП страны с конца 20-х годов⁴ XXI в. до 2050 г. при переходе от базового сценария к ускоренной декарбонизации и определен спрос на электрическую, тепловую энергию и основные виды топлива для первой версии интенсивного сценария развития ТЭК страны. Важно отметить, что интенсивный сценарий сформирован при допущении о сохранении на существующем уровне поглощающей способности лесов и предполагает сильное снижение физических объемов эмиссии парниковых газов от использования органического топлива. По этим данным оптимизирован сценарий ускоренной декарбонизации к 2050 г. мировых энергетических рынков [12] и определены эффективные направления, размеры и цены российского экспорта основных видов топлива.

По полученным параметрам энергетического экспорта и внутреннего энергопотребления России оптимизирована первая версия интенсивного сценария развития топливно-энергетического комплекса и определены динамика внутренних цен на топливо и электроэнергию, объемы инвестиций в развитие отраслей ТЭК и размеры их вклада в ВВП страны. Его сравнение с динамикой вклада ТЭК в ВВП по базовому сценарию показало, что разница между ними замедлит развитие экономики России меньше, чем было принято при разработке первой версии интенсивного сценария.

² Принято в Париже в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата 12.12.2015. Ратифицировано постановлением Правительства России от 21.09.2019 № 1228.

³ Не было необходимой глубины научной проработки и широкого обсуждения этой проблемы.

⁴ Подготовка нормативов, технологий и строительство неуглеродной энергетики займут 6–7 лет.

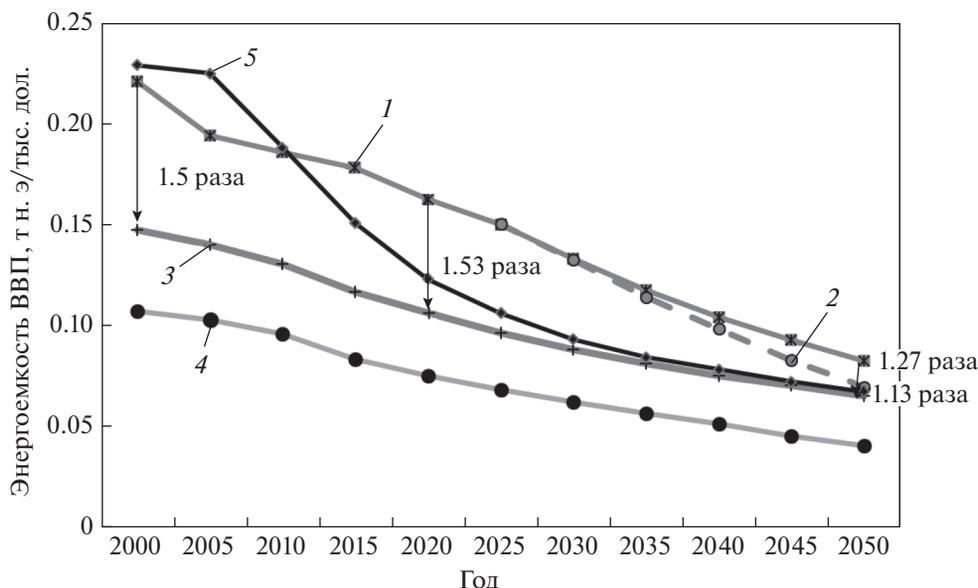


Рис. 1. Динамика изменения энергоёмкости ВВП мира и России в базовом и интенсивном сценариях (данные МЭА за 2000–2020 гг., далее прогноз ИНЭИ РАН).

Россия, сценарий: 1 – базовый; 2 – интенсивный; 3 – мир; 4 – Организация экономического сотрудничества и развития (Европа); 5 – Китай

Чтобы учесть не только прямой вклад в ВВП России, но и мультипликативные эффекты перехода к низкоуглеродному развитию, для первой версии интенсивного сценария развития ТЭК на агентских моделях [15] разработан интенсивный сценарий развития экономики страны [16] (табл. 1). Для него рассчитано потребление энергии и оптимизирована вторая (итоговая) версия интенсивного сценария производства топлива и электроэнергии. Для нее уточнены размеры инвестиций в развитие ТЭК и его вклада в национальный ВВП, а также объемы выбросов парниковых газов отраслями ТЭК и энергетическим хозяйством отраслей экономики России.

ХАРАКТЕРИСТИКА СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ТЭК

Итеративные расчеты показали, что с конца 20-х годов XXI в. интенсификация декарбонизации России к 2050 г. уменьшит на 20%, по сравнению с базовым сценарием, размеры фонда потребления и на 21% объемы ВВП страны, что равносильно потере в 30–50-е годы трех лет развития экономики. Постепенное введение платы за выбросы парниковых газов и увеличение использования ветровой и солнечной энергии⁵ вдвое ускорят уменьшение энергоёмкости ВВП (см. рис. 1). В результате если в базовом сценарии объемы по-

требления всех видов первичной энергии вырастут на 19% к 2050 г., то в интенсивном сценарии после их роста на 4% к 2035 г. объемы потребления опустятся к 2050 г. на 2% ниже уровня в 2019 г. (табл. 2).

Главным потребителем первичной энергии в России останутся электростанции⁶. Их доля возрастет с 38.6% в 2019 г. до 43% в 2050 г. по базовому сценарию (при сокращении вдвое расхода топлива котельными) и до 56% по интенсивному сценарию при уменьшении расхода энергоресурсов остальными потребителями, кроме сырьевых и нетопливных нужд (рис. 2).

Доминирующим видом первичной энергии на внутреннем рынке России в базовом сценарии останется самое чистое топливо – природный газ, а в интенсивном его доля в энергопотреблении снизится до 46% при росте доли неуглеродных энергоресурсов с 10.6% в 2019 г. до 40% в 2050 г. и многократном уменьшении потребления угля (рис. 3).

Прогнозы внутреннего потребления энергии использованы в расчетах сценариев развития мировых энергетических рынков [12] для оптимизации объемов российского экспорта топлива (см. табл. 2, рис. 4). К 2030 г. объемы экспортруемого Россией топлива вырастут согласно базовому сценарию на 6%, по интенсивному – на 2%, а затем к 2050 г. опустятся ниже уровня 2019 г. на 9% в

⁵ В международной статистике при расчетах их объемов не учитываются потери при преобразовании первичной энергии в электроэнергию.

⁶ О развитии электро- и теплоэнергетики России по рассмотренным в статье сценариям см. в [17].

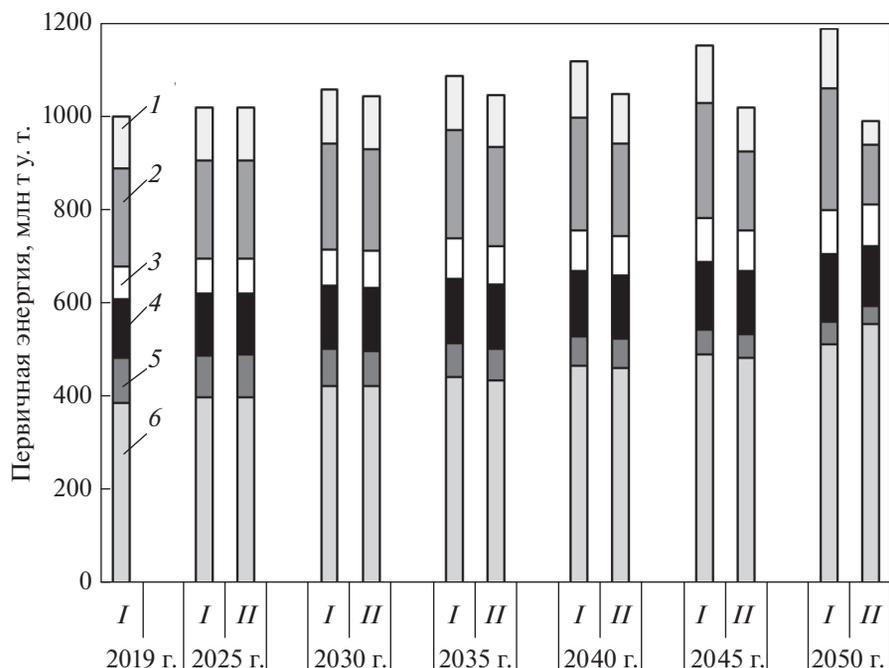


Рис. 2. Направления потребления первичной энергии в базовом (I) и интенсивном (II) сценариях.

I – коммунальные нужды; 2 – транспорт; 3 – сырьевые и нетопливные нужды; 4 – производственные нужды; 5 – котельные; 6 – электростанции

базовом и на 25% в интенсивном сценариях. При доминировании нефтяного экспорта в базовом сценарии экспорт газа к 2050 г. вдвое сократит отставание от него, а в интенсивном газ и нефть потеряют рынок пропорционально – при шестикратном уменьшении объемов экспорта угля.

Прогнозы по объемам внутреннего и внешнего потребления энергоресурсов формируют базовый и интенсивный сценарии производства первичной энергии (см. табл. 2, рис. 5). В обоих сценариях в течение всего прогнозного периода доминирует газ (природный и попутный): его доля увеличится с 41.1% в 2019 г. до 48% в 2035–2050 гг.

по базовому сценарию и до 54% в 2035–2040 гг. по интенсивному сценарию со снижением до 44% к 2050 г. Доля нефти (с газовым конденсатом) в производстве первичной энергии (38.5% в 2019 г.) к 2050 г. в обоих сценариях снижается – до 31% в базовом и до 33% в интенсивном сценариях. Более быстрыми темпами происходит сокращение добычи угля – с 15.3% в 2019 г. до 11% в базовом и до 3% в интенсивном сценарии к 2050 г.

Органическое топливо замещают экспоненциально растущие (рис. 6) неуглеродные энергоресурсы в электроэнергетике [13] и теплоснабжении: их доля (5.1% в 2019 г.) к 2050 г. согласно базовому

Таблица 2. Динамика изменения основных параметров развития ТЭК России по базовому (в знаменателе) и интенсивному (в числителе) сценариям, млн т у. т.

Показатель	Год							% к 2019 г.	Разница между сценариями, %
	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050		
Потребление энергоресурсов	1001	1021	$\frac{1043}{1060}$	$\frac{1043}{1090}$	$\frac{1039}{1120}$	$\frac{1008}{1155}$	$\frac{972}{1190}$	$\frac{97.7}{118.9}$	21.2
Экспорт топлива	1079	1106	$\frac{1114}{1152}$	$\frac{1082}{1124}$	$\frac{1034}{1115}$	$\frac{913}{1067}$	$\frac{800}{995}$	$\frac{74.1}{88.5}$	29.8
Производство энергоресурсов	2080	2099	$\frac{2114}{2186}$	$\frac{2097}{2199}$	$\frac{2047}{2238}$	$\frac{1897}{2225}$	$\frac{1749}{2188}$	$\frac{83.7}{105.2}$	25.2
Выбросы парниковых газов	2080	2099	$\frac{2114}{2186}$	$\frac{2097}{2199}$	$\frac{2047}{2238}$	$\frac{1897}{2225}$	$\frac{1749}{2188}$	$\frac{83.7}{105.2}$	21.5

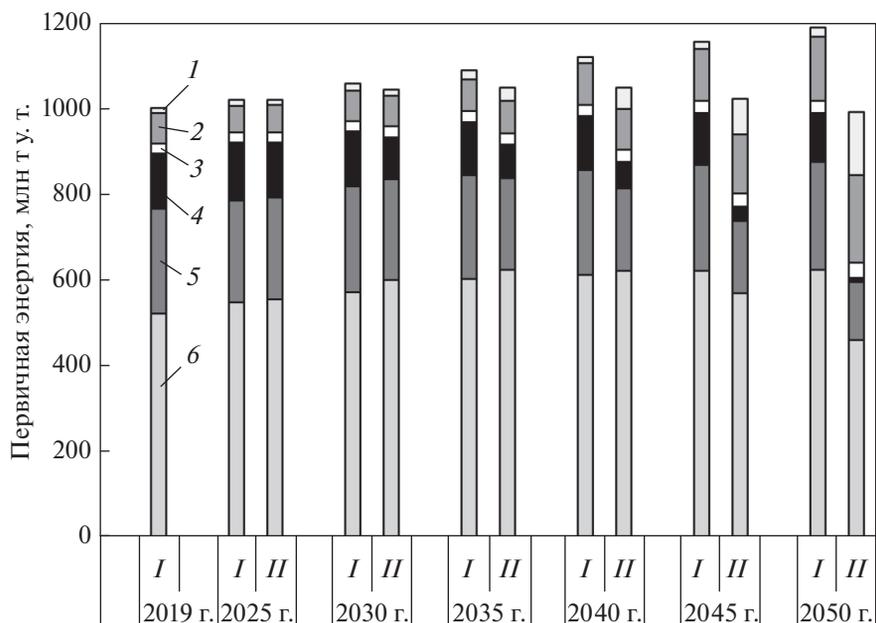


Рис. 3. Потребление основных видов первичной энергии в базовом (I) и интенсивном (II) сценариях. 1 – НВИЭ; 2 – атомная энергия; 3 – гидроэнергия; 4 – уголь; 5 – жидкое топливо; 6 – газ (природный и попутный)

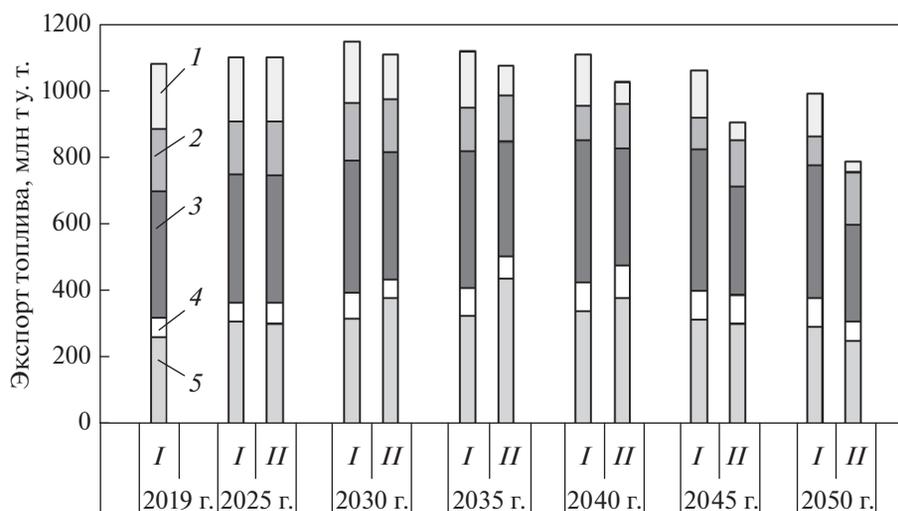


Рис. 4. Энергетический экспорт России по видам топлива в базовом (I) и интенсивном (II) сценариях. Топливо: 1 – уголь; 2 – нефтепродукты; 3 – нефть; 4 – сжиженный природный газ; 5 – газ сетевой

сценарию удвоится, а согласно интенсивному – возрастет в 4 раза. Доминирование в неуглеродных ресурсах атомной энергии (68% в 2019 г.) уменьшится к 2050 г. до 65% в базовом и до 56% в интенсивном сценарии, а доля гидроэнергии (22,8% в 2019 г.) сократится до 13 и 9% соответственно. Доля нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ) увеличится с 9,1% в 2019 г. до 23% по базовому и до 35% по интенсивному сценарию.

Для этой динамики изменения объемов добычи, транспортировки и переработки топлива и производства электроэнергии⁵ рассчитаны необходимые размеры инвестиций (рис. 7). В базовом сценарии они достигнут максимума в 2041–2045 гг. и опустятся к 2050 г. до уровня 2026–2035 гг., а в интенсивном сценарии в целом за период будут на 20% меньше. Доля ТЭК в объемах инвестиций России сократится с 26,5% в 2019 г. [18] до 24% в базовом и до 26% в интенсивном сценарии в

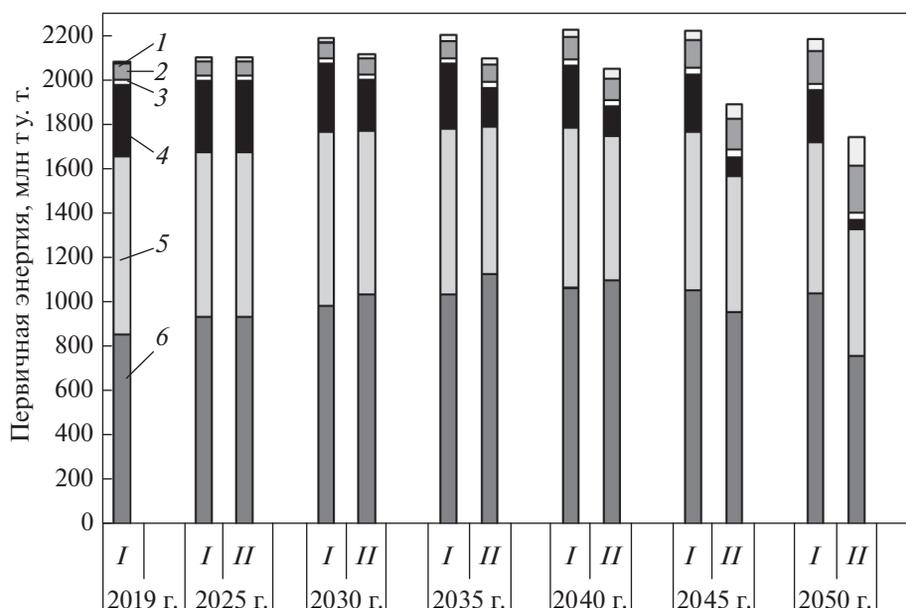


Рис. 5. Производство первичной энергии в базовом (I) и интенсивном (II) сценариях.
1 – НВИЭ; 2 – атомная энергия; 3 – гидроэнергия; 4 – уголь и прочие твердые виды топлива; 5 – нефть и газовый конденсат; 6 – природный газ

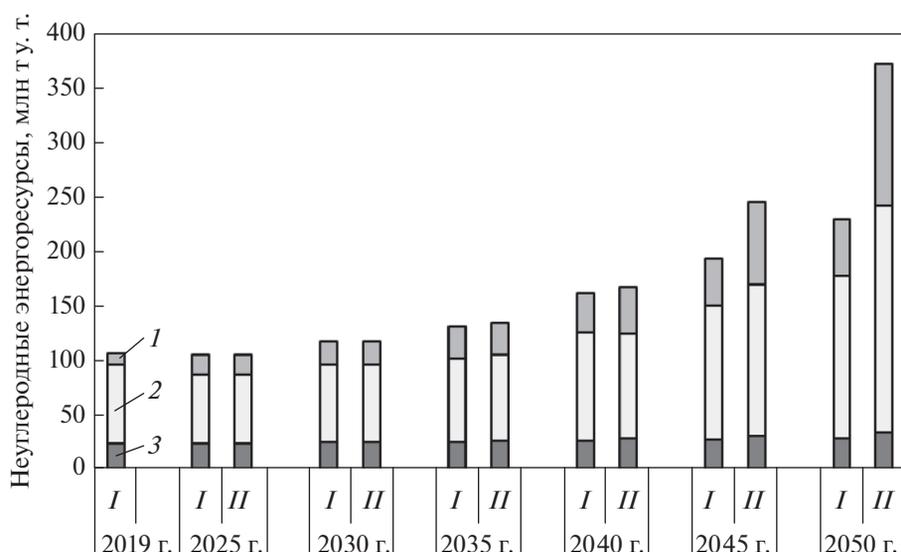


Рис. 6. Производство неуглеродной энергии в базовом (I) и интенсивном (II) сценариях.
1 – НВИЭ; 2 – атомная энергия; 3 – гидроэнергия

2031–2035 гг. и, соответственно, до 12 и 13% в 2045–2050 гг.

Размеры вклада отраслей ТЭК в ВВП страны (рис. 8) вырастут к 2035 г. на 38% в базовом и на 34% в интенсивном сценарии, а затем к 2050 г. снизятся (относительно уровня 2019 г.) до 96 и 55% соответственно. Топливные отрасли вносят менее половины вклада в ВВП, а доминировать будет электроэнергетика с быстрым ростом вкла-

да неуглеродной генерации. Доля отраслей ТЭК в ВВП увеличится с 19.5% (2019 г.) до 22% в базовом и до 24% в интенсивном сценарии в 2025 г. и затем снизится к 2050 г. до 8 и 5% соответственно. Таким образом, уже с 30-х годов XXI в. декарбонизация мировой энергетики “избавит” Россию от пресловутого “ресурсного проклятья”.

Расчитанный выше прямой вклад отраслей ТЭК в ВВП страны дополняют их мультипликатив-

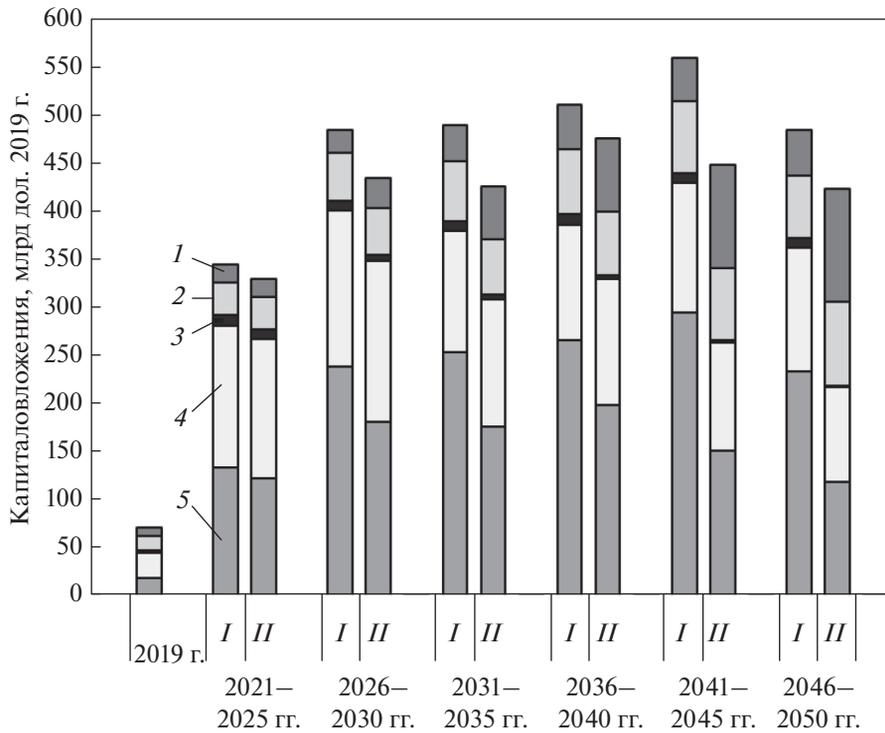


Рис. 7. Пятилетние капиталовложения в отрасли ТЭК России по базовому (I) и интенсивному (II) сценариям, млрд дол. 2019 г.
 1 – неуглеродная энергетика; 2 – ТЭС и электросети; 3 – угольная промышленность; 4 – газовая отрасль; 5 – нефтяная отрасль

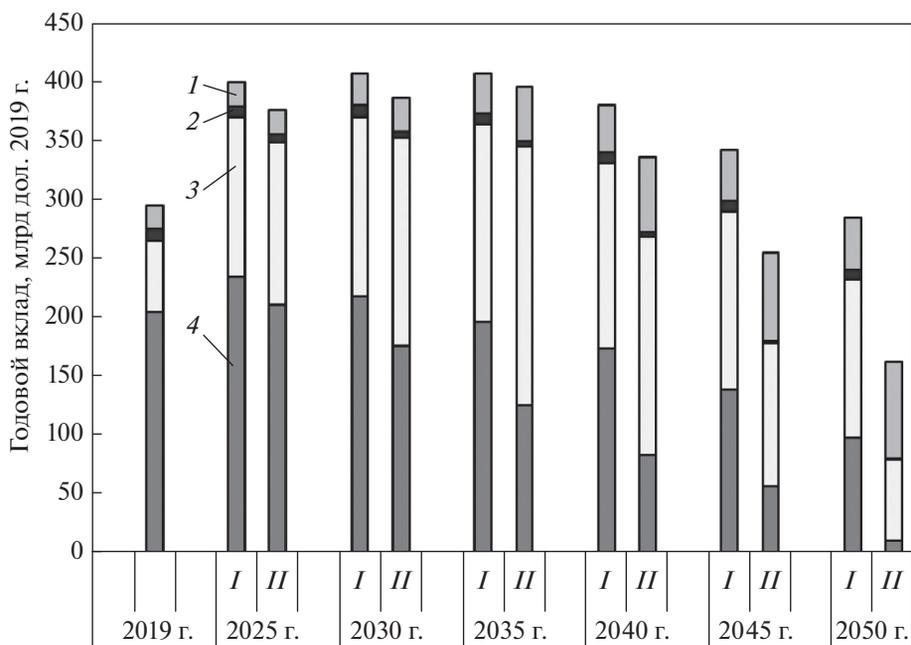


Рис. 8. Годовой вклад отраслей ТЭК в ВВП России по базовому (I) и интенсивному (II) сценариям.
 1 – электроэнергетика; 2 – угольная промышленность; 3 – газовая отрасль; 4 – нефтяная отрасль

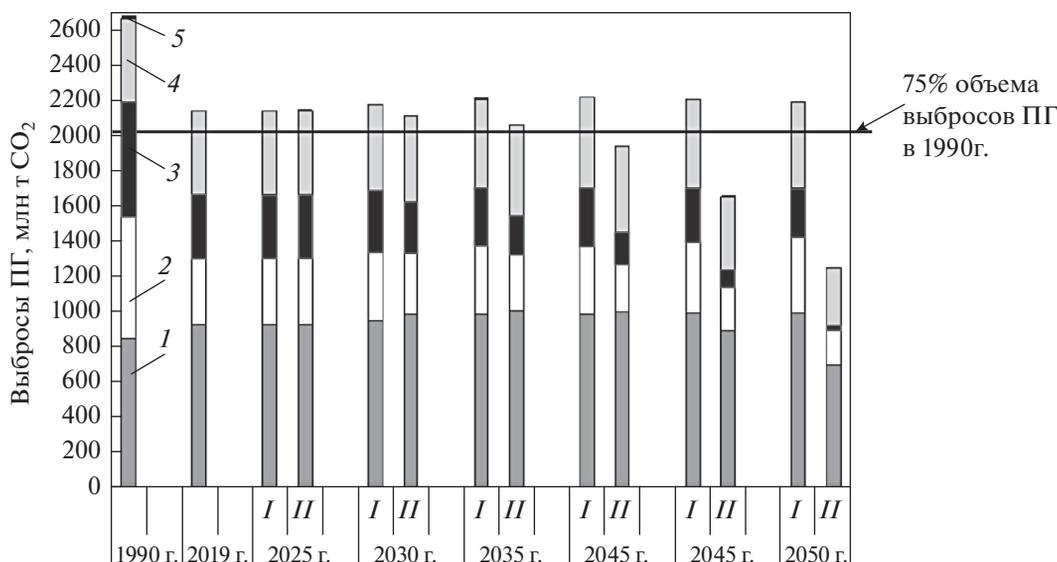


Рис. 9. Выбросы парниковых газов и их состав в базовом (I) и интенсивном (II) сценариях развития энергетики России. I – CO₂ от газового топлива; 2 – CO₂ от нефтепродуктов; 3 – CO₂ от твердого топлива; 4 – метан; 5 – прочие газы

ные эффекты в других отраслях экономики. Главные из мультипликативных эффектов:

заказы на продукцию машиностроения и строительства при инвестировании развития отраслей ТЭК (см. рис. 7);

использование заработанной при экспорте топлива валюты для покупки дефицитных товаров и услуг для других отраслей экономики;

сдерживание динамики роста внутренних цен на топливо (особенно на газ, в том числе благодаря компенсации затрат внутреннего рынка частью экспортной выручки) и электроэнергию (подробнее см. [17]).

Как было отмечено ранее, уменьшение мультипликативных эффектов ТЭК обусловило не менее половины отставания развития экономики России по интенсивному сценарию относительно базового.

СЦЕНАРИИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Для рассмотренных сценариев развития ТЭК по нормативам Международной группы экспертов по изменению климата рассчитаны объемы выбросов парниковых газов отраслями ТЭК и энергохозяйством потребителей (рис. 9). В 2019 г. эти объемы оказались меньше официальных данных (2119 млн т CO₂ (экв.)⁷ [7]) на часть выбросов ПГ в сельском хозяйстве (метан от продуктов живот-

недеятельности животных) и от свалок бытовых отходов.

В базовом сценарии выбросы ПГ отраслями ТЭК и энергетикой потребителей увеличатся на 4% к 2040 г., а затем уменьшатся на 2% к 2050 г. В интенсивном сценарии выбросы парниковых газов начнут снижаться уже после 2025 г. и опустятся до 43% относительно объемов выбросов парниковых газов в России в 1990 г. Среди источников эмиссии доминируют природный и попутный газы, которые в базовом сценарии дадут 53–55% общего объема вклада энергетических источников эмиссии. В интенсивном сценарии объемы выбросов парниковых газов к 2050 г. уменьшатся на 30%, а вклад газа в их объем увеличится до 69% (см. рис. 9). Доля эмиссии ПГ от использования угля к 2050 г. сократится с 24% (2019 г.) до 20% в базовом и до 10% в интенсивном сценарии.

Отрасли ТЭК дали 44,8% объемов эмиссии парниковых газов в России в 2019 г. Доля ПГ к 2050 г. уменьшится до 43% в базовом сценарии и вырастет до 47% в интенсивном, где абсолютный объем выбросов ПГ от ТЭК будет на 36% меньше, чем в 2019 г. (рис. 10). Следующий по крупности источник парниковых газов – транспорт (20,3% в 2019 г.) – в базовом сценарии к 2050 г. увеличит абсолютный объем выбросов ПГ на 12% и свою долю в суммарной эмиссии до 24%, а в интенсивном сценарии сократит объем выбросов в 1,75 раза, снизив долю в общей эмиссии до 19%. Промышленность и коммунальная энергетика в обоих сценариях уменьшат вклад в выбросы парниковых газов, а в интенсивном сценарии по промышленности их объемы к 2050 г. сократятся в 6 раз (см. рис. 10).

⁷ Выбросы разных парниковых газов по их тепличному эффекту пересчитаны на углекислый газ.

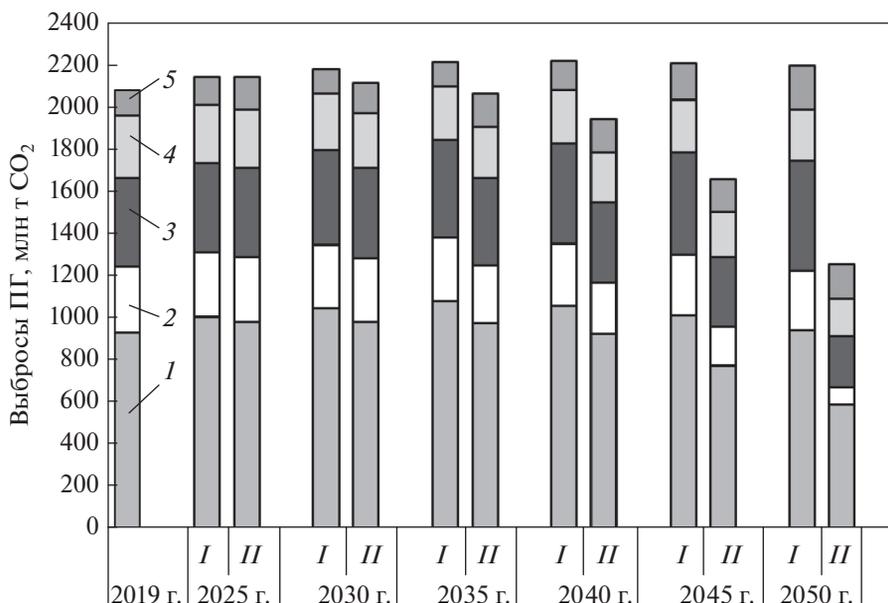


Рис. 10. Выбросы парниковых газов энергетикой России по основным видам хозяйственной деятельности в базовом (I) и интенсивном (II) сценариях.
 1 – отрасли ТЭК; 2 – промышленная энергетика; 3 – транспорт; 4 – коммунальная энергетика; 5 – прочее

Таблица 3. Сравнение доступных показателей СНУР и прогнозов ИНЭИ

Показатель	Год				
	2019	2030		2050	
		СНУР	ИНЭИ	СНУР	ИНЭИ
Валовой внутренний продукт, %	100	$\frac{137}{137}$	$\frac{132}{130}$	$\frac{185}{247}$	$\frac{236}{216}$
Инвестиции в технологии по снижению ПГ**, трлн руб. 2020 г.	–	–	–	$\frac{75.0}{17.7}$	$\frac{78.9}{27.6}$
Выбросы ПГ отраслями ТЭК и потребителями топлива, млн т CO ₂ (экв.)	$\frac{2084^{***}}{2119}$	$\frac{2698}{2188}$	$\frac{2183}{2113}$	$\frac{2521}{1830}$	$\frac{2199}{1217}$
Вклад технологий в снижение выбросов ПГ**, млн т CO ₂ (экв.)	–	–	–	$\frac{460}{1243}$	$\frac{430}{1265}$

* В числителе – инерционный и базовый сценарии, в знаменателе – целевой и интенсивный.

** В сценариях ИНЭИ по данным [19].

*** Учтены лишь “энергетические” выбросы ПГ, т.е. без выбросов бытовых и животноводческих отходов.

В табл. 3 для сравнения приведены основные параметры рассмотренных сценариев и доступные данные⁸ по инерционному и целевому сценариям Стратегии низкоуглеродного развития РФ (СНУР) [2]. Видно, что инерционный сценарий в СНУР близок по параметрам к базовому сценарию авторов настоящей статьи (ИНЭИ), а целевой сценарий СНУР – к интенсивному сценарию.

⁸ Стратегия [2] и презентация РФ на COP26 в Глазго (в этих материалах из отраслей ТЭК России имеются данные только по электроэнергетике).

В обоих сценариях СНУР объемы ВВП страны вырастут к 2030 г. на 37%, что на 5% больше, чем в базовом прогнозе Министерства экономического развития России [10]. Это опережение роста ВВП после 2030 г. исчезло в инерционном сценарии (объем ВВП увеличится всего в 1.4 раза к 2050 г.), но сохранилось до 2050 г. в целевом (низкоуглеродном) сценарии СНУР: по нему ВВП увеличится в 1.8 раза, несмотря на неизбежное снижение размеров экспортной выручки и рост затрат на низкоуглеродное развитие страны. Очевидно, что такое содержание сценариев СНУР в

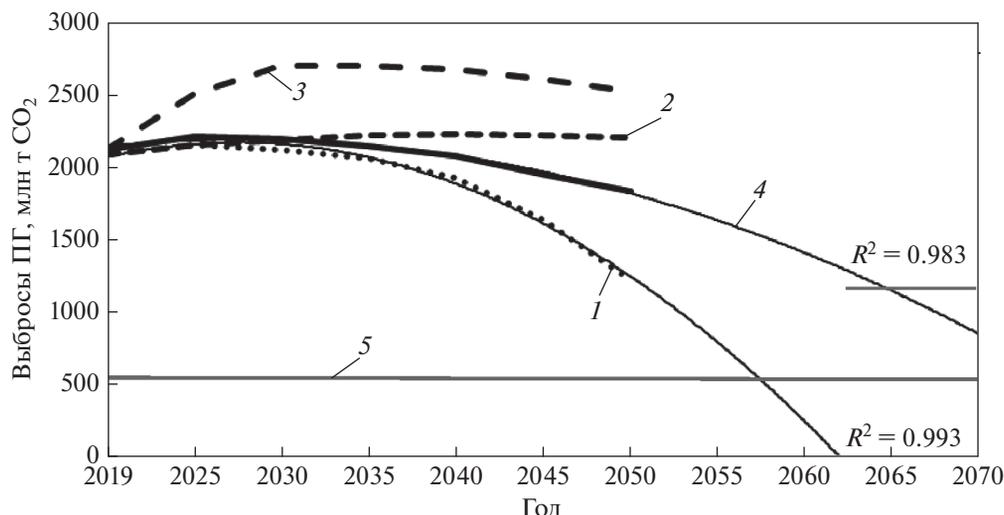


Рис. 11. Возможные сроки достижения Россией углеродной нейтральности по СНУР и прогнозам ИНЭИ РАН. Сценарий: 1 – интенсивный; 2 – базовый; 3 – целевой; 4 – инерционный; 5 – поглощение CO₂ лесами

части развития экономики России не позволяет судить о цене декарбонизации энергетики страны.

В инерционном сценарии СНУР выбросы парниковых газов в России увеличатся на 27% к 2030 г. и уменьшатся на 9% к 2050 г. При этом 460 млн т выбросов ПГ будет предотвращено благодаря использованию безуглеродных технологий, на что потребуются 18 трлн руб. В целевом сценарии СНУР выбросы увеличатся на 3% к 2030 г. и уменьшатся к 2050 г. на 14% от уровня 2019 г.

При малом различии объемов выбросов парниковых газов в 2019 и 2030 гг. в базовом сценарии ИНЭИ они увеличатся на 4% к 2040 г. и затем уменьшатся на 2% к 2050 г. Это потребует 28 трлн руб. инвестиций в освоение технологий сокращения эмиссии ПГ на 430 млн т CO₂ (экв.). В интенсивном сценарии объемы выбросов ПГ уменьшатся к 2050 г. в 1.75 раза, в том числе на 1265 млн т CO₂ (экв.) вследствие реализации низкоуглеродных технологий стоимостью 79 трлн руб. (см. табл. 3). При близких затратах и объемах использования неуглеродных технологий Россия, согласно интенсивному сценарию ИНЭИ, по меньшей мере на 10 лет быстрее перейдет к низкоуглеродному развитию, чем по целевому сценарию СНУР. Одна из причин – необоснованная амбициозность принятой в [2] динамики роста экономики страны.

Экстраполяция сложившейся в интенсивном сценарии тенденции уменьшения объемов выбросов парниковых газов отраслями ТЭК и энергетическим хозяйством потребителей топлива при условии сохранения в перспективе существующих оценок поглощающей способности лесов показывает высокую достоверность ($R^2 = 0.993$) достижения Россией углеродной нейтральности в 2057–2058 гг. (рис. 11).

При экстраполяции сложившейся в целевом сценарии СНУР тенденции уменьшения объемов выбросов парниковых газов при условии сохранения существующих объемов поглощающей способности лесов и болот [535 млн т CO₂ (экв.) в 2019 г.] становится очевидным, что углеродная нейтральность в стране достижима лишь после 2070 г. Предусмотренное в СНУР увеличение к 2050 г. объемов поглощения до 1200 млн т CO₂ (экв.) позволит приблизить сроки достижения нейтральности к 2065 г., но это на 10 лет дальше полученных в интенсивном сценарии ИНЭИ.

ВЫВОДЫ

1. Отсутствие необходимой полноты научных обоснований того, что антропогенная эмиссия парниковых газов – главная причина текущего потепления климата планеты, порождает подозрения в политико-экономической ангажированности доминирующей в мире концепции декарбонизации энергетики. Россия присоединилась к соответствующим международным соглашениям, но, естественно, заинтересована в минимизации связанных с декарбонизацией затрат и ущербов.

2. Разработаны весьма оптимистичный базовый сценарий развития до 2050 г. экономики и энергетики России и его модификация при интенсивной декарбонизации страны. Их сравнение определяет:

темпы и объемы свертывания добычи и переработки нефти и особенно угля;

страхующую процесс декарбонизации динамику роста и последующего снижения объемов добычи и использования газа;

темпы углубления электрификации страны и ускорения развития электроэнергетики;

приемлемые объемы и структуру производства энергии на неуглеродных источниках.

3. Сравнение базового и интенсивного сценариев по необходимым объемам инвестиций в ТЭК и размерам вклада его отраслей в ВВП страны показало, что в интенсивном сценарии с 2030-х годов ТЭК теряет ведущую роль в экономике России, доминирование по вкладу в экономику переходит в ТЭК от топливных отраслей к электроэнергетике, а полученная динамика снижения объемов энергетических выбросов парниковых газов позволит сократить их до уровня углеродной нейтральности к концу 50-х годов XXI в. (при сохранении существующей поглощающей способности лесов).

4. Декарбонизация энергетики замедлит на три года (относительно базового сценария) рост экономики России в 2030–2050 гг. и ее цена для завершения энергетического перехода будет еще выше.

5. После завершения исследования и подготовки статьи произошел слом геополитической ситуации. Он серьезно замедлит развитие экономики и энергетики России, отодвинув на несколько лет актуальность перехода страны к низкоуглеродному развитию и, возможно, изменив осознание причин потепления климата планеты. Но сохранится актуальность изложенной в статье методологии и использованных средств исследования, а также полученных количественных оценок влияния основных факторов энергетической (в том числе низкоуглеродной) политики на энергетику и экономику России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Макаров А.А.** Закономерности развития энергетики – ускользящая сущность // Изв. РАН. Энергетика. 2010. № 1. С. 3–12.
2. **Стратегия** социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. Утв. распоряжением Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р.
3. **Макаров И.А., Чен Х., Пальцев С.В.** Последствия Парижского климатического соглашения для экономики России // Вопросы экономики. 2018. № 4. С. 76–94.
<https://doi.org/10.32609/0042-8736-2018-4-76-94>
4. **Башмаков И.А.** Стратегия низкоуглеродного развития российской экономики // Вопросы экономики. 2020. № 7. С. 51–74.
<https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-7-51-74>
5. **Порфирьев Б., Широков А., Колпаков А.** Стратегия низкоуглеродного развития: перспективы для экономики России // Мировая экономика и международные отношения. 2020. Т. 64. № 9. С. 15–25.
<https://doi.org/10.20542/0131-2227-2020-64-9-15-25>
6. **The low carbon development options for Russia / G. Safonov, V. Potashnikov, O. Lugovoy, M. Safonov, A. Dorina, A. Bolotov** // Climatic Change. 2020. V. 162. P. 1929–1945.
<https://doi.org/10.1007/s10584-020-02780-9>
7. **Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю.** Комплексный подход к стратегии низкоуглеродного социально-экономического развития России // Георесурсы. 2021. Т. 23. № 3. С. 3–7.
<https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.1>
8. **Возможности и риски** политики климатического регулирования в России / Б.Н. Порфирьев, А.А. Широков, А.Ю. Колпаков, Е.А. Единак // Вопросы экономики. 2022. № 1. С. 72–89.
<https://doi.org/10.32609/0042-8736-2022-1-72-89>
9. **Макаров А.А., Веселов Ф.В., Малахов В.А.** Влияние мер по ограничению эмиссии парниковых газов на развитие экономики и энергетики России // Изв. РАН. Энергетика. 2010. № 4. С. 66–81.
10. **Прогноз** социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 г. М.: Минэкономразвития РФ, 28.11.2018.
11. **Прогноз** социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 г. М.: Минэкономразвития РФ, 30.09.2019.
12. **Макаров А.А.** Модельно-информационная система для исследования перспектив энергетического комплекса России (SCANER) // Управление развитием крупномасштабных систем: сб. М.: Физматлит, 2012.
13. **Перспективы** развития мировой энергетики с учетом влияния технологического прогресса / под ред. В.А. Кулагина. М.: ИНЭИ РАН, 2020.
14. **Макаров А.А.** Подходы к оценке устойчивости и рисков долгосрочного развития энергетики России // Системные исследования в энергетике: методология и результаты / под ред. А.А. Макарова, Н.И. Воропая. М.: ИНЭИ РАН, 2018. С. 113–126.
15. **Malakhov V., Nesytykh K., Dubynina T.** A multi-agent approach for the intersectoral modeling of the Russian economy // Proc. of the 10th Intern. Conf. on Management Large-Scale Systems Development (MLSD). Moscow, Russia, 2–4 Oct. 2017. P. 1–5.
<https://doi.org/10.1109/MLSD.2017.8109656>
16. **Малахов В.А., Несытых К.В.** Долгосрочные макроэкономические потери и выгоды России от низкоуглеродного развития мира и отечественной энергетики // Проблемы прогнозирования. 2022. № 4. С. 55–67.
17. **Масштабы** и последствия глубокой декарбонизации российской электроэнергетики / Ф.В. Веселов, И.В. Ерохина, А.С. Макарова, А.И. Соляник, Л.В. Урванцева // Теплоэнергетика. 2022. № 10. С. 32–44.
18. **Россия** в цифрах: краткий статистический сборник. М.: Федеральная служба государственной статистики России, 2020.
19. **Кейко А.В., Веселов Ф.В., Соляник А.И.** Оценка технологий энергоперехода для ТЭК России // Исследование путей и темпов развития низкоуглеродной энергетики в России. М.: ИНЭИ РАН, 2022.

Scenarios and Price of the Transition to Low-Carbon Energy in Russia

A. A. Makarov*

Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences (ERI RAS), Moscow, 117186 Russia

**e-mail: info@eriras.ru*

Abstract—For half a century now, the concept of decarbonization has dominated the global political and economic agenda, and Russia, despite the incompleteness of its scientific justification and the obvious threats to the development of the country's economy and energy, has recently joined it. A basic (extrapolation of the most optimistic of the latest approved by the government) scenario for the development of the country's economy until 2050 is presented, and it is transformed into a scenario of accelerated energy decarbonization (intensive). For these scenarios, forecasts have been developed for the consumption of the main types of fuel and electricity, and the required volumes of production of all types of primary energy have been optimized, taking into account the transformation of world energy markets. The rates and volumes of phasing out oil and especially coal production, the role of gas in the transition to low-carbon energy, the achievable volumes and the structure of noncarbon energy production are shown. Calculations of the required volumes of investments in the fuel and energy complex (FEC) and the contribution of the value added of its industries to the country's gross domestic product (GDP) showed that, in the intensive scenario, the fuel and energy complex loses its leading role in the Russian economy from the 2030s. Dominance in it in terms of contribution to the economy is moving from the oil and gas complex to the power industry, and greenhouse gas (GHG) emissions can be reduced to carbon neutrality by the mid-2050s (while maintaining the existing absorptive capacity of forests). The decarbonization of the energy sector will slow (relative to the baseline case) the growth of the Russian economy for 3 years in 2030–2050, and its cost to complete the energy transition will be even higher. The demolition of the geopolitical situation that occurred after the completion of the study and the preparation of the article will seriously change the scenarios for the development of the Russian economy and energy and, possibly, even the accepted paradigm of climate warming. But the methodology outlined here for the study and assessment of the degree of influence of the main factors of low-carbon policy on the energy and economy of the country will remain.

Keywords: decarbonization, economy, fuel and energy complex, low-carbon energy, fuel, noncarbon energy resources