

# Сценарии развития мировой энергетики до 2050 года

**РЭА**  
МИНЭНЕРГО РОССИИ



Москва 2024

---

## ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО

---

### Уважаемые читатели!

За последние годы тема снижения углеродного следа мирового топливно-энергетического комплекса (ТЭК) вышла в число приоритетных направлений как в общественно-политическом, так и отраслевом дискурсе. Существует множество вариантов и предположений о том, за счёт применения каких технологий и видов топлива глобальный ТЭК сможет переломить нынешний тренд роста выбросов парниковых газов и связанного с ним неблагоприятного изменения климата. Однако разброс экспертных оценок развития энергетических рынков стал чрезвычайно широк. При этом в некоторых вариантах энергоперехода не до конца учитываются финансовые затраты, которых потребует продвигаемая отдельными странами цель достижения углеродной нейтральности мирового ТЭК уже к 2050 г.

Сегодня важно сформировать наше собственное видение будущего, которое бы отражало все аспекты развития мировой энергетики и национальные приоритеты не только России, но и других стран. Поэтому Российское энергетическое агентство Минэнерго России подготовило прогнозные сценарии развития мировой энергетики до 2050 года.

Такая масштабная работа с использованием огромного массива статистических данных стала первым опытом для нашего Агентства. Чтобы сформировать собственный взгляд на наиболее вероятную траекторию развития мировой энергетики эксперты разработали специальный модельный аппарат. С его помощью для одиннадцати макрорегионов, в которые были включены все страны мира, были проанализированы ключевые тренды развития топливно-энергетического комплекса, проведены расчеты по секторам и описана динамика спроса и предложения на энергоресурсы с учётом перспективных технологий потребления и производства энергии, а также региональной ресурсной базы и конкурентоспособности добычи ископаемых энергоресурсов. На основе полученных данных предложены три основных сценария развития глобальной энергетики, предусматривающие разную скорость декарбонизации.

Отмечу две отличительные особенности нашего подхода к формированию сценариев. Во-первых, поисковый характер и неангажированность в сторону заранее сформулированного результата. Во-вторых, ориентация на создание инструмента, в котором вариативность прогнозов обеспечивается преимущественно за счет различных гипотез по выбору технологий, как в части потребления, так и производства топлив и энергии.



Генеральный директор РЭА Минэнерго России  
**Алексей Кулапин**

Изучение данных материалов может быть полезно как отраслевому научному и экспертному сообществу, так и тем, кто занят в процессе принятия управленческих решений в топливно-энергетическом комплексе.

Сценарии были подготовлены рабочей группой, состоявшей из сотрудников Агентства и внешних экспертов. Выражаю глубокую благодарность и признательность за сотрудничество Виктории Кокшаровой (Агентство развития и трансформации экономики), Александру Амирагану, Антону Белоглазову, Татьяне Радченко и Кириллу Халтурину (Центр стратегических разработок), Валерию Семикашеву и Марии Гайворонской (Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН), Ольге Любимовой (Группа ВТБ), Константину Ахметьянову (ООО «Релатум»), Дине Яковлевой (НИУ ВШЭ), а также Парвин Геяси (РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина).

Надеюсь, что проведенная нами работа станет определенной вехой в истории энергетического прогнозирования как в нашей стране, так и за рубежом и внесёт вклад в системные исследования по данному направлению.

## РЕЗЮМЕ

«Идеальный» вариант энергоперехода — достижение углеродной нейтральности мирового ТЭК к 2050 г., под которым подписались многие участники Парижского соглашения, оказывается слишком дорогим способом трансформации существующей энергетики. Данный сценарий является весьма капиталоемким и, на наш взгляд, чрезвычайно трудно реализуемым в отсутствие масштабной финансовой помощи развивающемуся миру. Более того, масштабы требующихся уже в средне- и долгосрочной перспективе инвестиций в низкоуглеродные технологии в данном сценарии превышают 5-6% мирового ВВП, что превосходит разумные ограничения с точки зрения развития мировой экономики.

Энергопереход не должен осуществляться в ущерб другим важным социально-экономическим задачам мирового развития. В частности, избранные методы перестройки энергетики не должны препятствовать успешному продвижению к достижению 7-й цели устойчивого развития (ЦУР) ООН — обеспечению всеобщего доступа к надёжным, устойчивым и современным источникам энергии.

Несмотря на то, что традиционная энергетика многие десятилетия служила надёжной опорой развития мировой экономики, продолжение развития мирового топливно-энергетического комплекса (ТЭК) по накатанным рельсам неприемлемо. Превышение разумного объема выбросов парниковых газов (ПГ) ведет к необратимым климатическим изменениям, пагубно сказывающимся на привычном образе жизни. Декарбонизация безусловно стала императивом развития мировой энергетики.

При достаточно ясных конечных целях энергоперехода конкретные пути и сроки декарбонизации мировой энергетики не столь однозначны. Существуют разнообразные возможные направления сокращения выбросов от использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР): от повышения энергоэффективности и внедрения менее углеродоёмких энергетических технологий до прямого ограничения потребления энергии.

При этом многие технологии, внедрение которых способствовало бы снижению углеродоёмкости мировой энергетики — суть начавшегося четвёртого энергоперехода, находятся ещё на ранних стадиях развития, это затрудняет оценку их экономической конкурентоспособности и,

соответственно, реалистичности сценариев, основанных на их интенсивном использовании. В особенности это касается таких перспективных технологий, как улавливание и хранение CO<sub>2</sub> при промышленных процессах сжигания топлива (УХУ) и производство водорода электролизом воды с использованием электроэнергии от возобновляемых источников энергии («зеленый» водород).

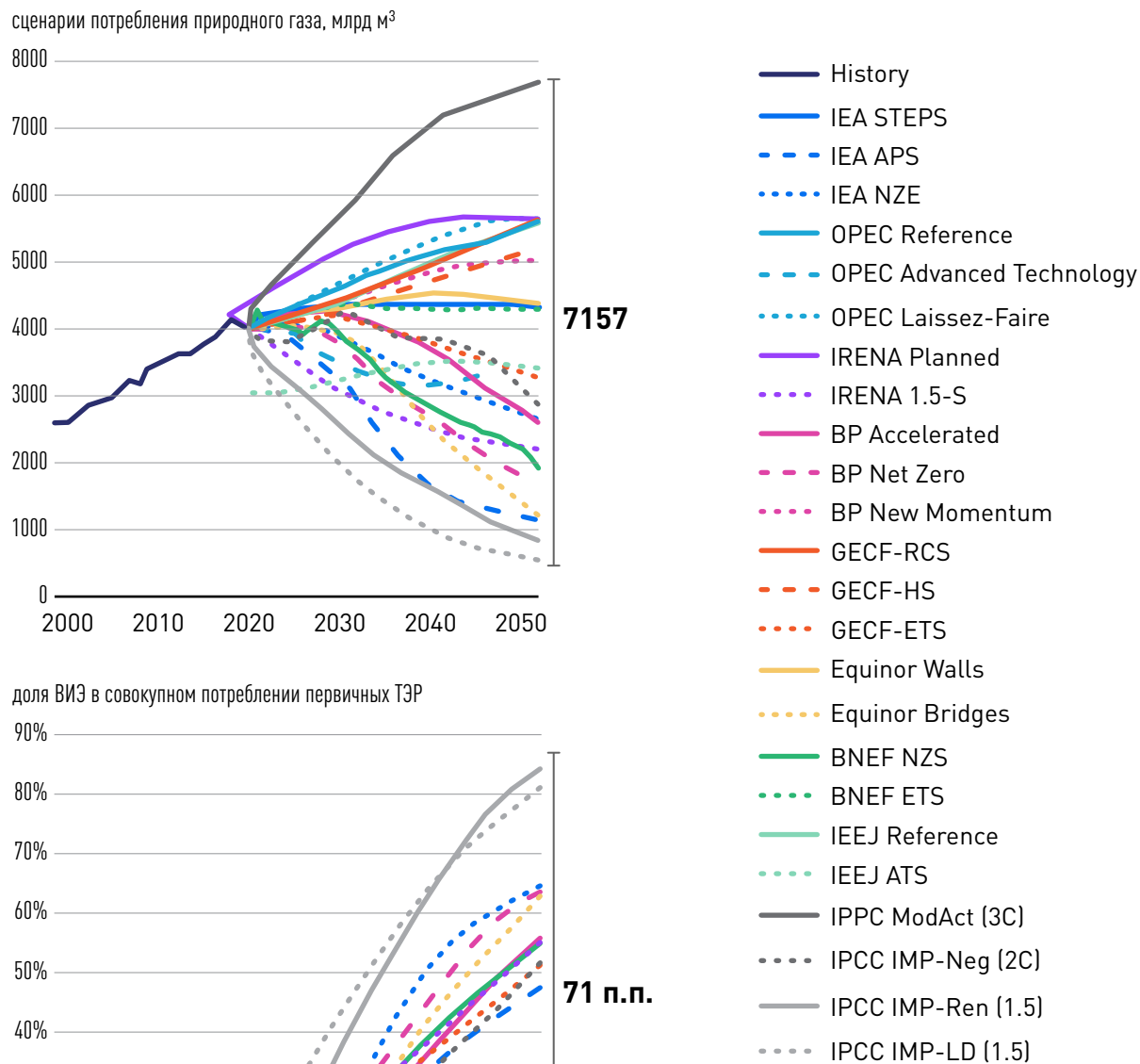
Неопределённость многих параметров развёртывающегося энергоперехода ведёт к достаточно широкому диапазону возможных сценариев развития мировой энергетики. В современных исследованиях практически не встречаются «точечные» прогнозы. Аналитические группы, занимающиеся прогнозированием, обычно предполагают по крайней мере три возможных сценария энергоперехода. Сценарное поле каждого из прогнозов при этом укладывается в конус возможных изменений основных параметров развития мировой энергетики до 2050 г.: общего объёма требующихся первичных энергоресурсов, спроса на основные виды первичных и вторичных ТЭР — от нефти до возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и водорода, объёма выбросов CO<sub>2</sub> и т. п. Верхняя граница сценарного поля представляет собой инерционное продолжение сложившихся в энергетике трендов, а нижняя — провозглашённую Парижским соглашением по климату задачу по достижению углеродной нейтральности после 2050 г.

С учетом отмеченной выше неопределенности многих технико-экономических показателей перспективных технологий, разброс получающихся сценариев чрезвычайно широк как для каждого отдельного прогноза<sup>1</sup>, так и всего множества сценариев. Наглядную демонстрацию данных различий можно найти в подготовленном Международным Энергетическим Форумом в феврале 2023 г. сравнении сценариев, разработанных девятью аналитическими группами<sup>2</sup>. Как видно на Рис. 1, даже при исключении из сравнения сильно выбивающегося вверх сценария МГЭИК, разница между крайними сценариями в возможном объёме потребления природного газа к 2050 г. превышает 5 трлн м<sup>3</sup>. Это на четверть больше, чем сегодняшнее мировое потребление газа. Разница в возможной доле ВИЭ в первичном потреблении ТЭР достигает к 2050 г. 71 процентного пункта (п.п.), а различия в возможной доле ископаемых ТЭК к тому же периоду составляют 72 п.п. — от 15% до 87%.

<sup>1</sup> Стоит отметить, что в последние годы в англоязычных версиях долгосрочные прогнозы развития мировой энергетики практически во всех случаях называются уже не *Forecast*, а *Outlook*, что можно перевести на русский как «взгляд» или «перспективы». Это иллюстрирует гораздо меньшую степень определённости, чем привычный «прогноз».

<sup>2</sup> *Outlooks Comparison Report*, February 2023, IEA, IEF, OPEC

**Рис. 1. Сравнение сценариев развития мировой энергетики до 2050 г.**



\*ВИЭ включают солнечную, ветровую и геотермальную энергию, а также современное и традиционное биотопливо

Источники: IEF, IEA WEO 2022, OPEC WOO 2022, IRENA World Energy Transitions Outlook 2022, BP Energy Outlook 2022, GECF 2021 Global Gas Outlook to 2050, Equinor Energy Perspectives 2022, BNEF New Energy Outlook 2022, IEEJ Outlook 2023, IPCC Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change

Для формирования собственного взгляда на наиболее вероятную траекторию развития мировой энергетики РЭА Минэнерго России разработало свой вариант возможных сценариев энергоперехода с «говорящими» названиями: «Всё как встарь» (ВКВ), «Чистый ноль» (ЧН) и «Рациональный технологический выбор» (РТВ). Для выявления и сравнения требующихся изменений именно в топливно-энергетическом комплексе, а не в экономике в целом все три сценария исходят из одинаковых базовых макропараметров: численности населения и ВВП. Различия между сценариями в основном относятся к скорости распространения низкоуглеродных энергетических технологий и соответствующему сдвигу структуры потребления первичных ТЭР, требующимся для этого изменениям ценовых параметров, жёсткости требований к сокращению выбросов основных парниковых газов (СО<sub>2</sub> и метана), а также к объёму инвестиций в энергопереход.

Наш анализ базировался на имеющихся оценках стоимости и конкурентоспособности перспективных технологий декарбонизации ТЭК, разработанных как в РЭА Минэнерго России, так и во внешних аналитических центрах. Для более точного учёта специфики применения различных технологий сценарные расчёты велись по трём секторам конечного энергопотребления — транспорт, промышленность, ЖКХ<sup>3</sup>, сектору электроэнергетики, включающему, кроме выработки электроэнергии и тепла, ещё и производство водорода<sup>4</sup>, и трём секторам добычи ископаемых углеводородных энергоресурсов: нефти, природного газа и угля. В целях учёта региональной специфики расчёты проводились для одиннадцати макрорегионов, на которые был разделён весь мир. Для более чёткого вычленения влияния

на развитие ТЭК тех изменений, которые происходят в нём самом, ряд макроэкономических предпосылок (динамика ВВП, населения и т. п.) был принят одинаковым для всех сценариев. В то же время цены на энергоресурсы, включая цены на выбросы СО<sub>2</sub>, различаются между сценариями.

Первичным в рамках сценариев выступал анализ динамики спроса на первичные энергоресурсы — в секторах конечного спроса и секторах трансформации: тепло-/электроэнергетики и производства водорода. Затем, исходя из оценки ресурсной базы и конкурентоспособности добычи ископаемых энергоресурсов, рассчитывались региональные объёмы производства нефти, природного газа и угля, необходимые для удовлетворения совокупного мирового спроса на данный вид ископаемого сырья.

Динамика развития мирового ТЭК, включая возможные потоки межрегиональной торговли энергоресурсами, является результатом агрегирования изменений в энергетике (потреблении и производстве энергоресурсов) макрорегионов. При этом влияние развития ТЭК на динамику экономического развития не анализировались.

Мы отдаём себе отчёт в ограниченности такого подхода к выработке взгляда на будущее мировой энергетики. Тем не менее, несмотря на неполноту анализа, на наш взгляд, он помогает снизить неопределённость оценок наиболее реалистических путей развёртывания энергоперехода, а главное, выработать аргументы в необходимом диалоге вокруг выбора того или иного пути развития мировой энергетики.

<sup>3</sup> Для упрощения представления результатов сектор, именуемый ЖКХ, представляет собой агрегирование трёх секторов: 1) ЖКХ (включая нежилую коммерческую недвижимость), 2) сельское хозяйство с рыболовством и 3) прочее энергопотребление, которое в исходной базе данных МЭА, использовавшейся для построения секторальных моделей, не было разнесено по секторам. Расчёты велись для каждого из данных подсекторов, но результаты агрегированы в один сектор.

<sup>4</sup> В целях унификации расчётов в секторе электроэнергетики оценивалось производство всех видов водорода, а не только «зелёного» — выработанного с использованием электроэнергии ВИЭ.

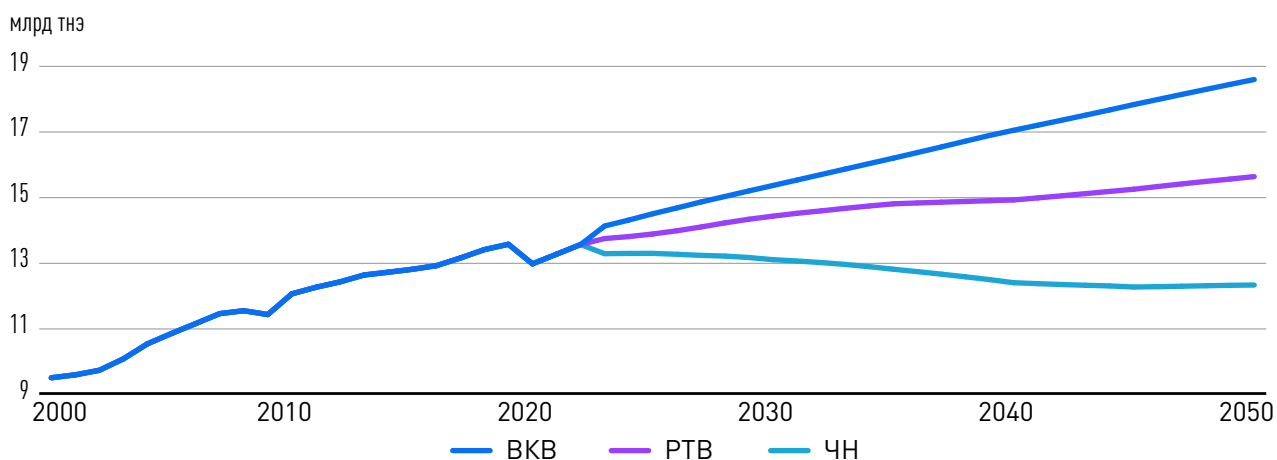
## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В рассмотренном нами сценарии РТВ структура мировой энергетики претерпевает значительные изменения, остающиеся в то же время в пределах возможностей мировой экономики. Инвестиции в энергопереход в данном сценарии оказываются примерно в полтора раза ниже, чем в сценарии достижения углеродной нейтральности к 2050 г. Выбросы от использования и производства энергоресурсов снижаются в сценарии РТВ на 34%, что может оказаться достаточным только для стабилизации роста среднемировой температуры на уровне 2°C. В случае реализации данного сценария потребуется заметное повышение поглощающей способности экосистем, в том числе за счёт масштабирования применения новых технологий повышения поглощающей способности океана.

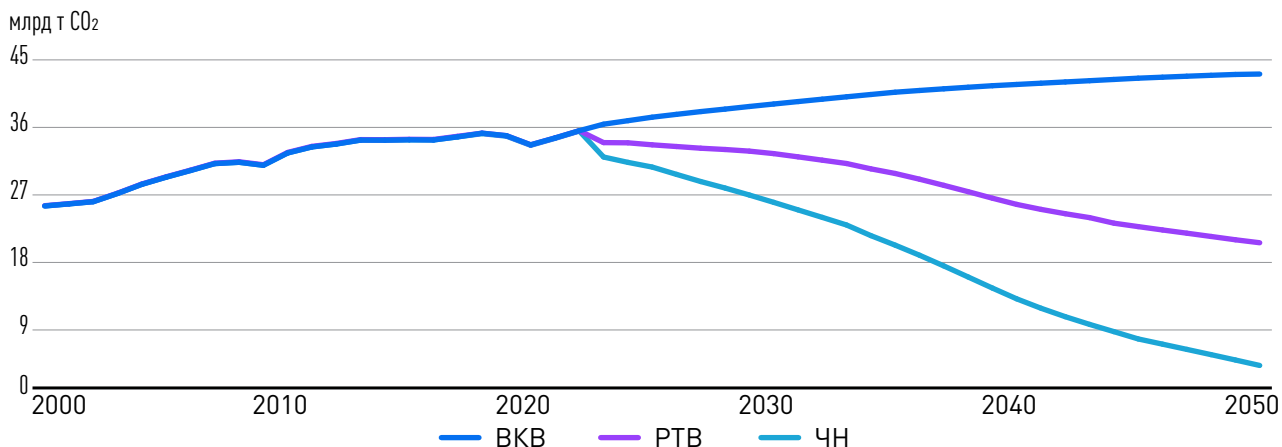
Однако данный сценарий представляется нам более реалистичным, чем сценарий ЧН, особенно с позиции развивающихся стран, сталкивающихся с проблемами финансирования капиталовложений в целом, а не только в климатические проекты.

Мировое потребление первичных ТЭР растёт с 2022 г. по 2050 г. в сценарии ВКВ на 37% (до 18.6 млрд тнэ), в сценарии РТВ — на 15% (до 15.7 млрд тнэ), а в сценарии ЧН снижается на 9% (до 12.4 млрд тнэ). Выбросы CO<sub>2</sub> и метана от использования и производства энергоресурсов в сценарии ВКВ растут на 26% (до 42 млрд т CO<sub>2</sub>-экв), в сценарии РТВ сокращаются на 34% (до 21.9 млрд т CO<sub>2</sub>-экв), а в ЧН снижаются на 74% (до 8.6 млрд т CO<sub>2</sub>-экв).

**Рис. 2. Потребление первичных энергоресурсов**



**Рис. 3. Выбросы CO<sub>2</sub> от использования энергоресурсов**



Первичное потребление жидкого углеводородного топлива, включая использование в качестве сырья в промышленности, растёт в прогнозном периоде в сценарии ВКВ на 24% (до 5.2 млрд т), а в сценариях РТВ и ЧН сокращается почти на 40% (до 2.6 млрд т) и более чем на 70% (до 1.2 млрд т) соответственно.

Наша оценка потребления жидких углеводородов в 2050 г. в сценарии ВКВ оказывается выше, чем в аналогичных сценариях вр, МакКинзи и МЭА, но ниже (хотя и незначительно), чем у Агентства энергетической информации Минэнерго США (АЭИ) и ОПЕК (Рис. 5).

В сценарии РТВ наши оценки спроса на нефть в 2050 г. практически не отличаются от МЭА и МакКинзи и заметно больше отстают от ОПЕК и АЭИ.

В сценарии ЧН и по уровню спроса на нефть в 2050 г., и по динамике роста наши сценарии практически не отличаются от аналогичных сценариев вр, МакКинзи и МЭА, и сильно отстают от АЭИ (ОПЕК не рассматривает данный сценарий).

**Рис. 4. Потребление ЖУВ**

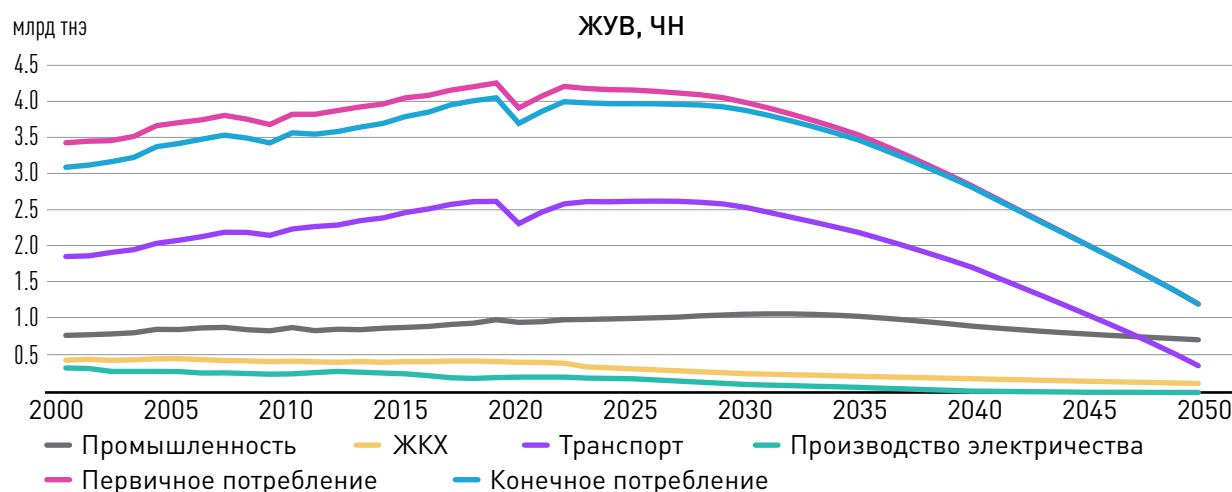
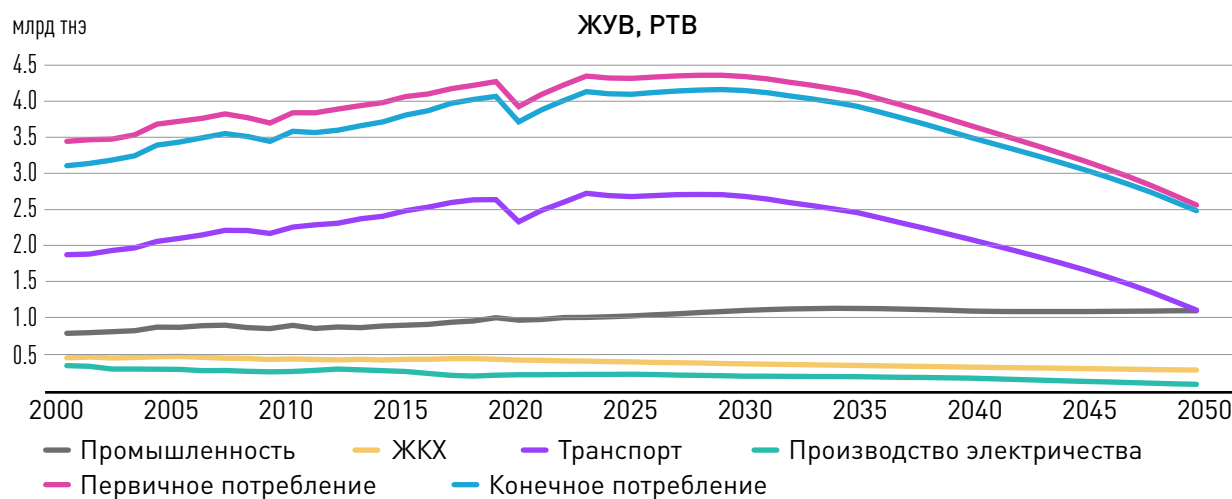
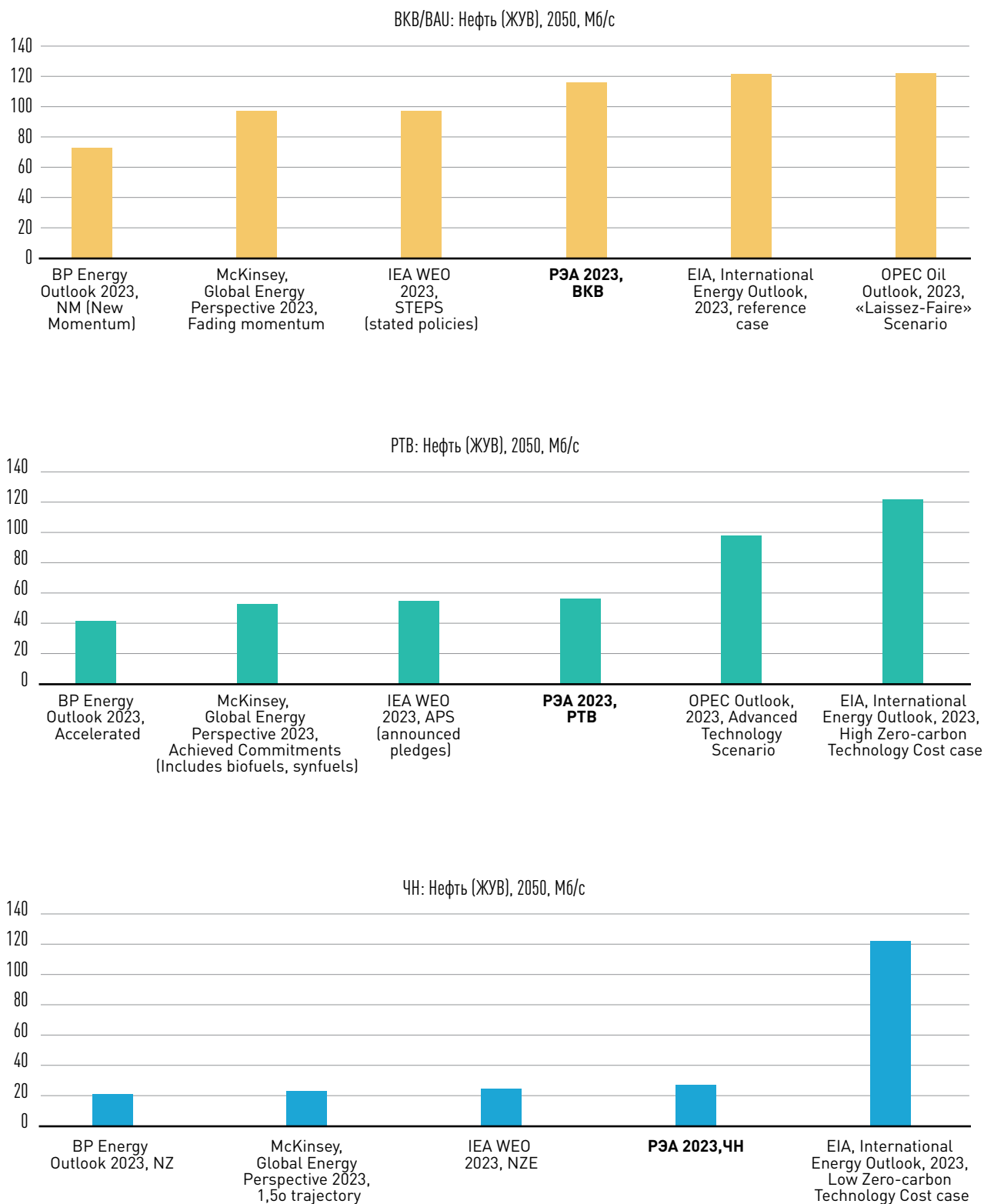


Рис. 5. Спрос на ЖУВ в 2050 г. в различных прогнозах





Первичное потребление природного газа, включая использование в качестве сырья в промышленности, растёт в прогнозном периоде в сценарии ВКВ на 56% (до 4.6 млрд тнэ), а в сценарии РТВ — на 26% (до 3.7 млрд тнэ). В сценарии ЧН потребление газа сокращается на 53% (до 1.4 млрд тнэ).

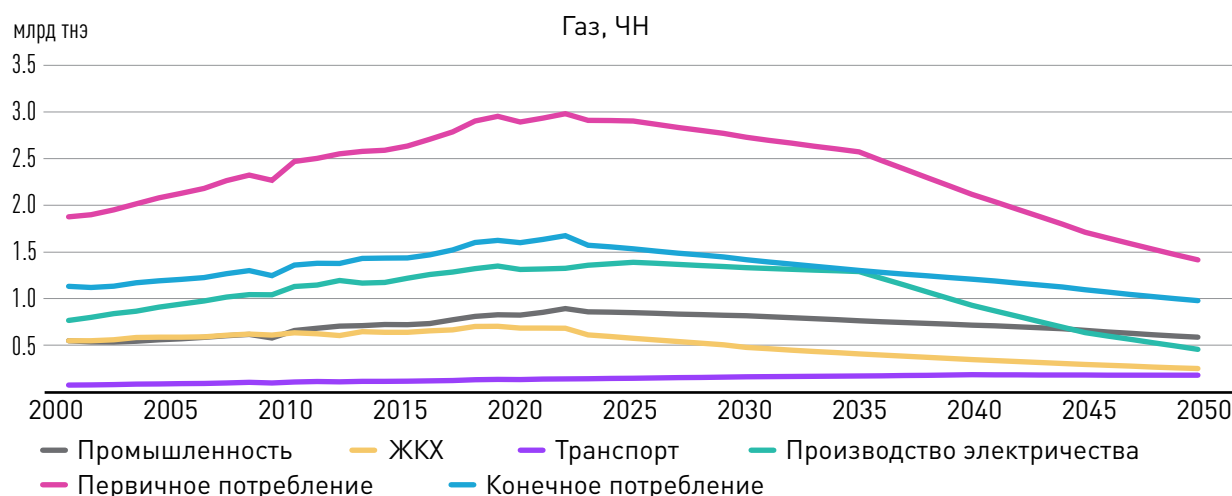
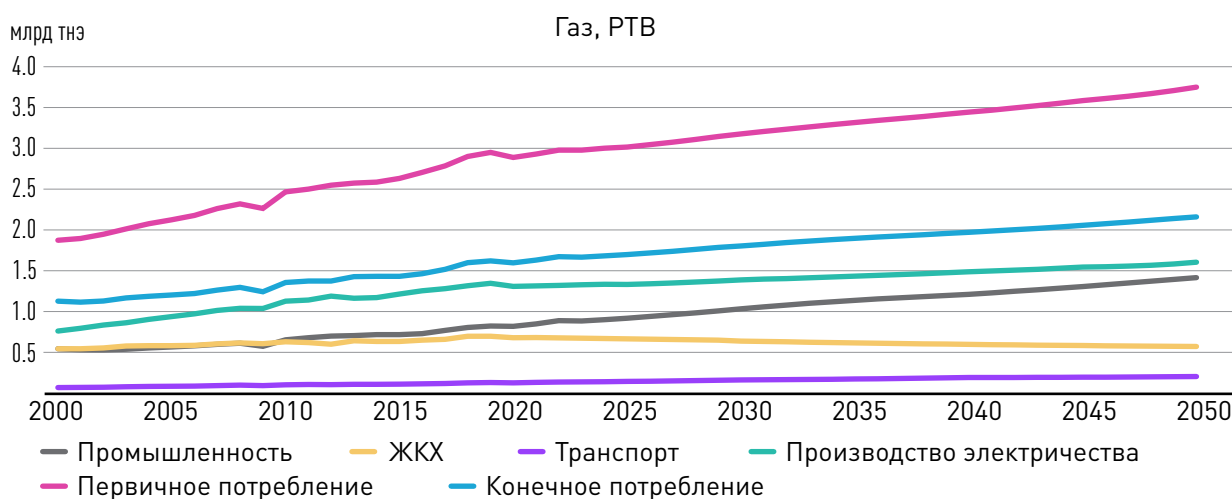
Наши ожидания потребления природного газа в 2050 г. в сценарии ВКВ оказываются ниже аналогичных сценариев АЭИ и ОПЕК и выше, чем у МЭА, вр и МакКинзи (Рис. 7).

Однако по динамике роста спроса на газ в сценарии ВКВ наши оценки выше других аналитических групп. Это один из двух таких случаев в наших сравнениях (частично связанный с различиями оценок потребления газа в базовом году).

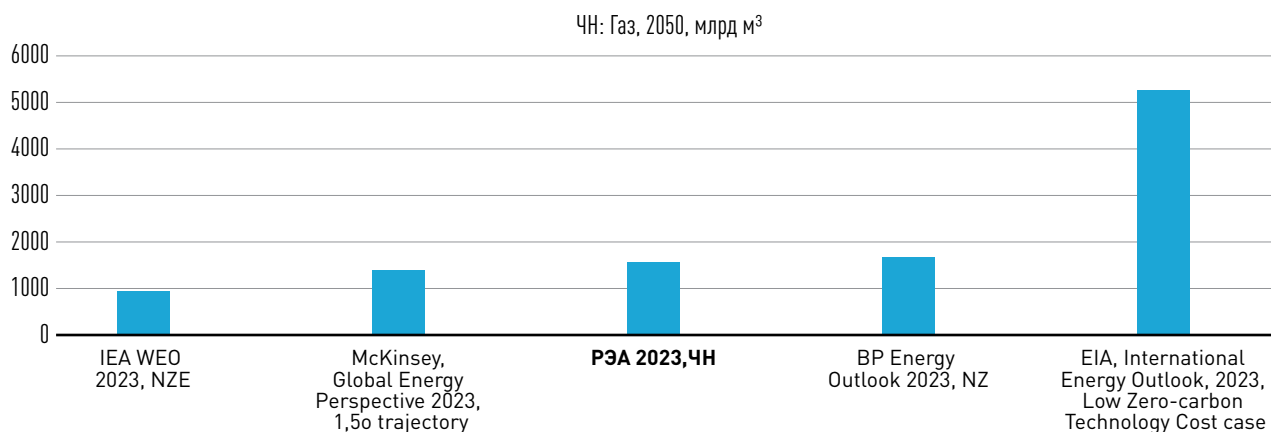
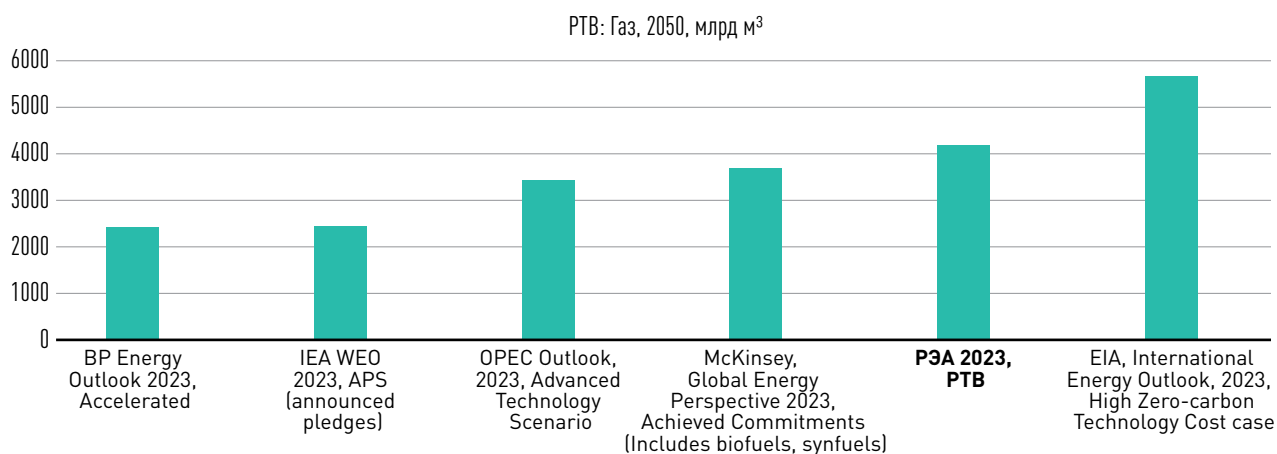
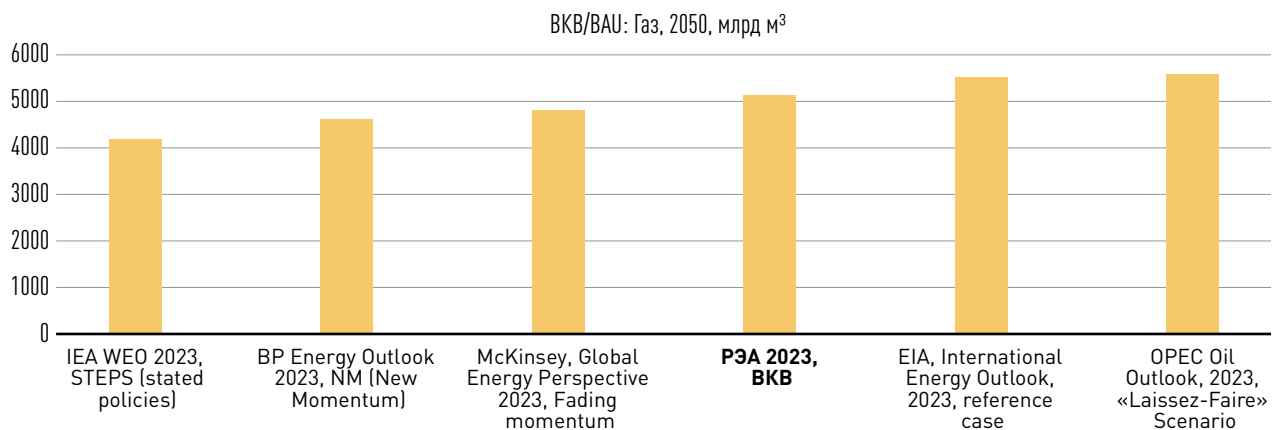
В сценарии РТВ соотношения между нашими и прочими сценариями немного меняются. По уровню потребления газа в 2050 г. мы превосходим не только вр, МЭА и МакКинзи, но и ОПЕК. Но отстаём от АЭИ, в том числе по темпам роста в 2023-2050 гг.

В сценарии ЧН к 2050 г. наши ожидания лишь незначительно отличаются от сценариев МЭА, МакКинзи и вр и по уровню, и по темпам роста спроса на газ, но заметно отстают от прогноза АЭИ.

**Рис. 6. Потребление природного газа в мире**



**Рис. 7. Спрос на газ в 2050 г. в различных прогнозах**



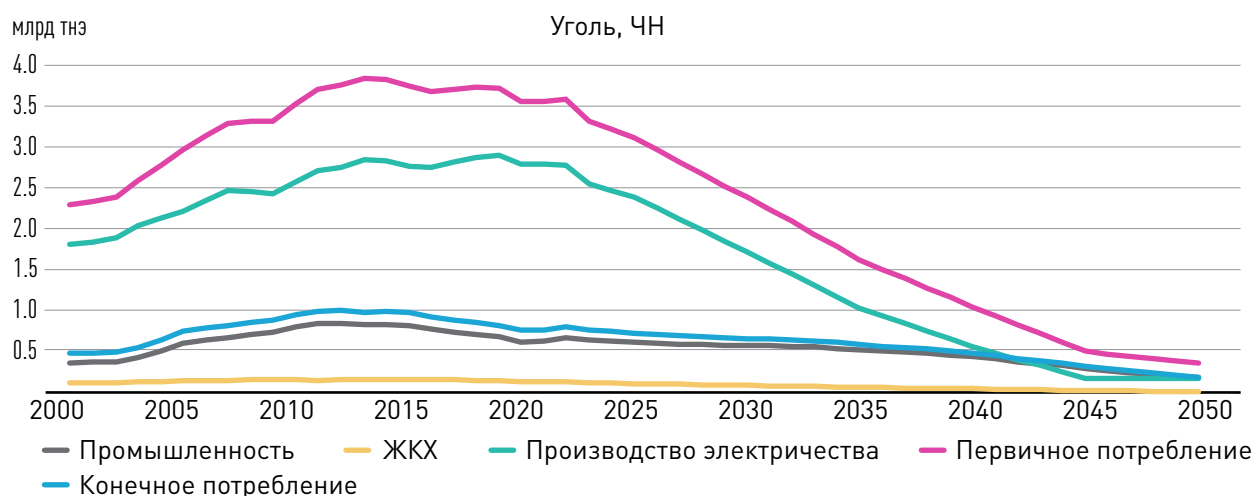
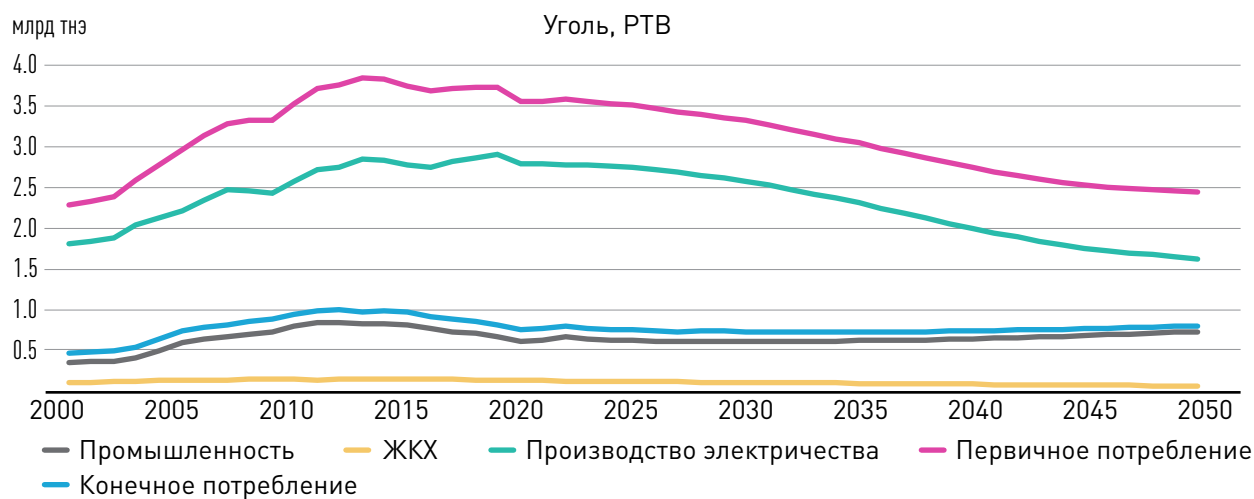
Первичное потребление угля, включая использование в качестве сырья в промышленности, растёт с 2022 г. по 2050 г. в сценарии ВКВ на 19% (до 4.3 млрд тнэ), а в сценариях РТВ и ЧН сокращается на 32% (до 2.4 млрд тнэ) и 90% (до 0.4 млрд тнэ) соответственно. По сравнению с 2022 г. объём мировой торговли углём растёт почти на 40% к 2050 г. в сценарии РТВ, но сокращается на 72% в сценарии ЧН.

В сценарии РТВ мы опережаем всех, кроме АЭИ, и по уровню спроса на уголь в 2050 г., и по динамике роста спроса в 2023-2050 гг.

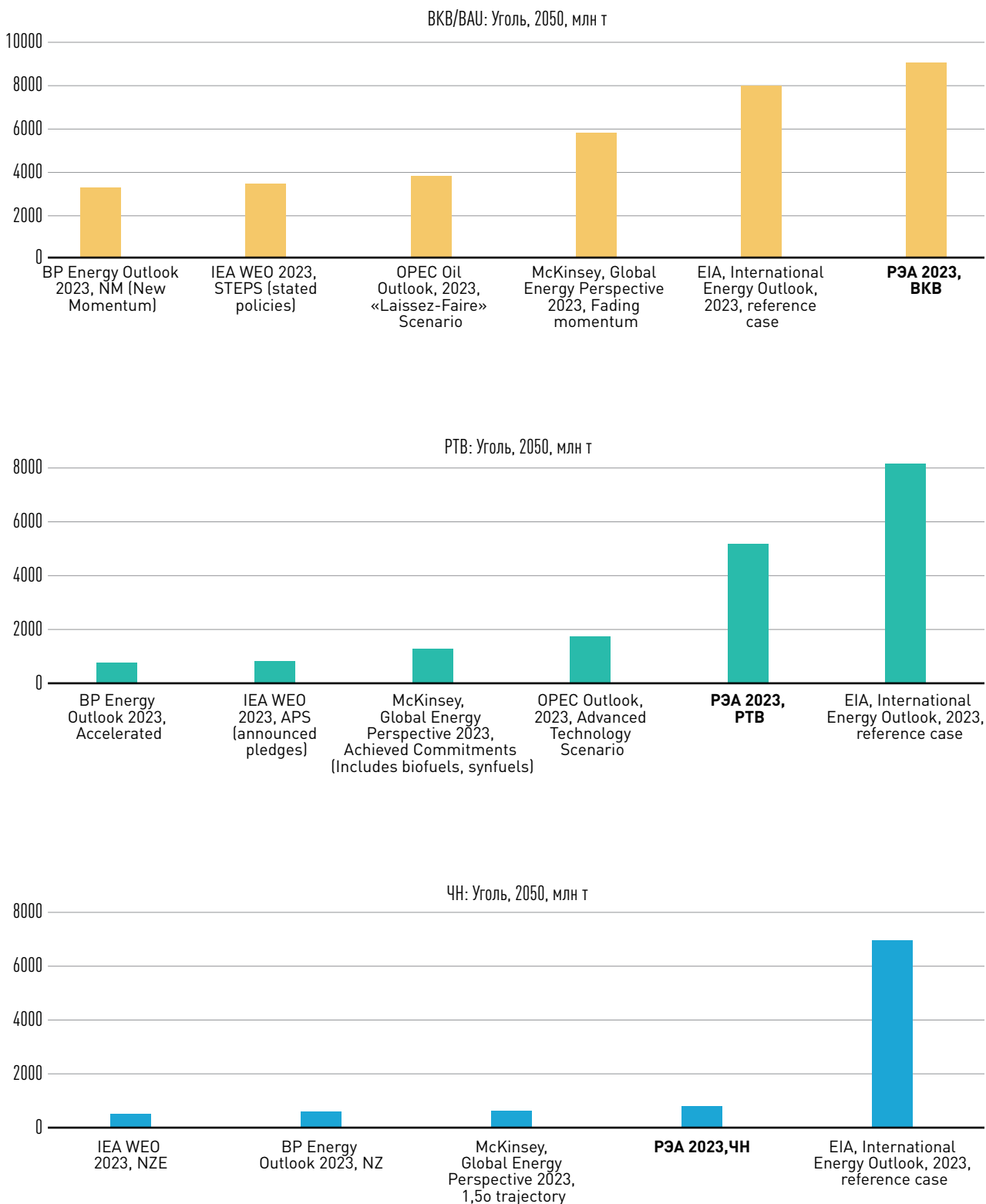
В сценарии ЧН и по уровню спроса в 2050 г., и по динамике роста спроса в 2023-2050 гг. мы практически не отличаемся от других сценариев, кроме АЭИ, которое опять же опережает всех с большим отрывом.

Соотношения наших оценок потребления угля с другими прогнозами напоминают ситуацию со сравнением прогнозов потребления газа. В сценарии ВКВ ожидаемый нами уровень потребления угля в 2050 г. отстаёт от оценок АЭИ и ОПЕК, но превышает прогноз МЭА, вр и МакКинзи. А по темпам роста мы опережаем всех (Рис. 9).

**Рис. 8. Потребление угля в мире**



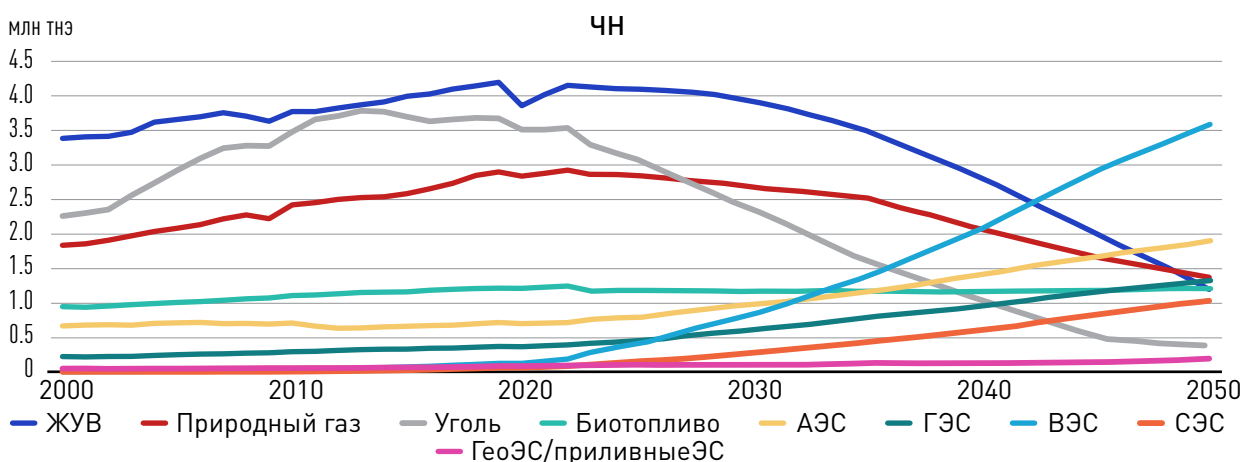
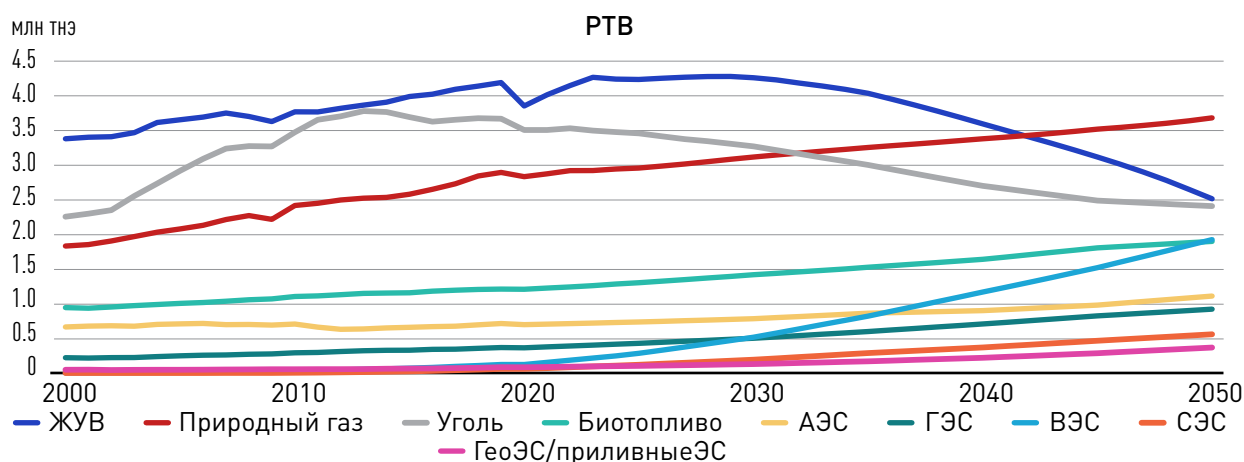
**Рис. 9. Спрос на уголь в 2050 г. в различных прогнозах**



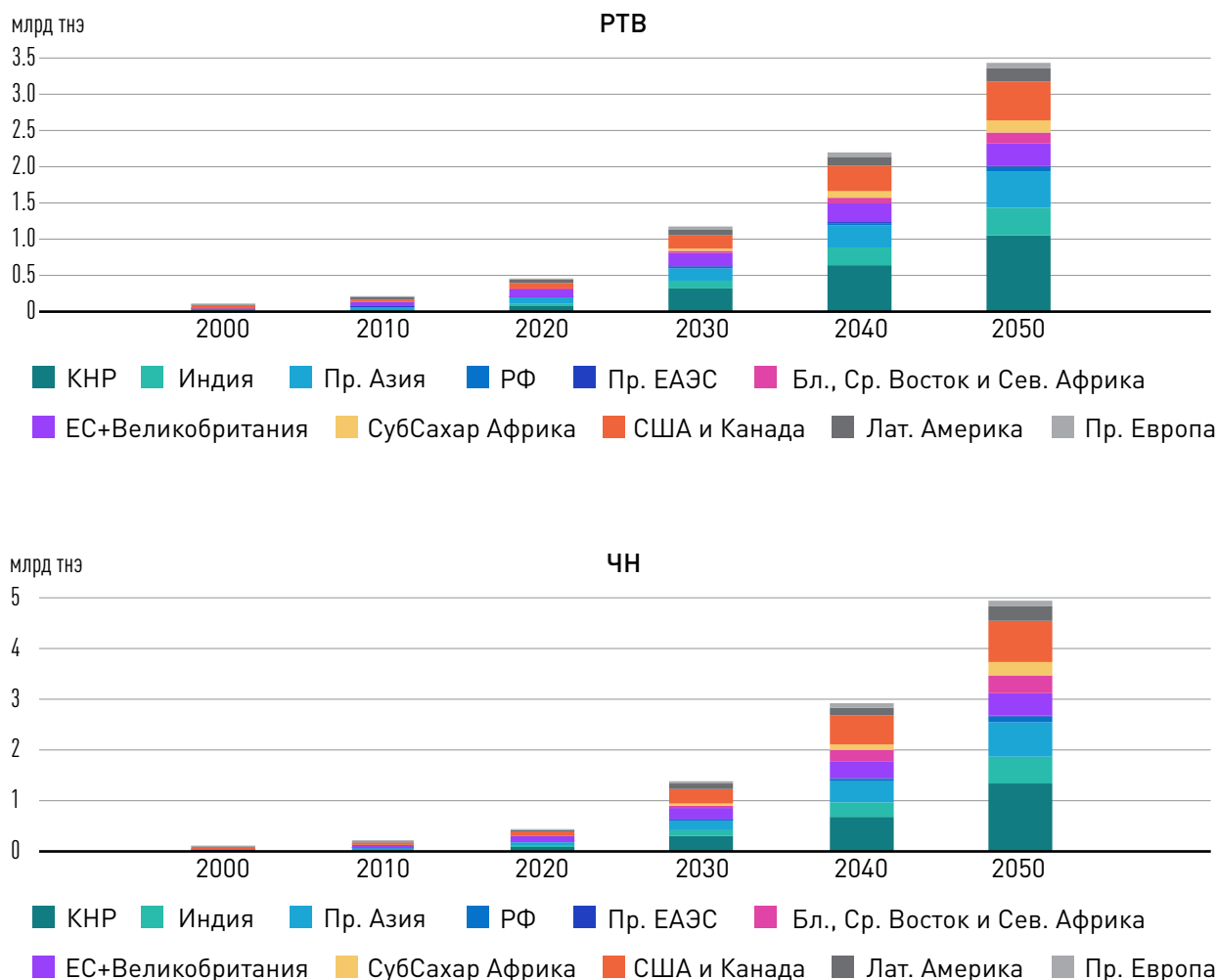
Первичное потребление биотоплива, включая использование в качестве сырья в промышленности, растёт в прогнозном периоде в сценарии ВКВ на 59% (до 2.0 млрд тнэ), а в сценарии РТВ — на 53% (до 1.9 млрд тнэ). В сценарии ЧН потребление биотоплива сокращается на 3% (до 1.2 млрд тнэ). Выглядающая странной, на первый взгляд, динамика потребления биотоплива по сценариям объясняется разнонаправленностью тенденций потребления традиционных (дрова и пр.) и новых видов биотоплива (этанол, биодизель и пр.).

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) развиваются быстрее, чем какой-либо другой источник первичной энергии. Особенно это касается ветровой и солнечной энергии, рост которых предполагается более чем в 10 раз с 2022-го по 2050 г. В результате в сценарии РТВ доля ВИЭ в мировом потреблении первичных ТЭР вырастает к 2050 г. до 31%, а в сценарии ЧН — до 50%<sup>5</sup>. При этом совокупная доля ископаемого углеводородного топлива в мировом потреблении первичных ТЭР сокращается к 2050 г. в сценариях РТВ и ЧН до 56% и 24% соответственно.

**Рис. 10. Динамика потребления первичных ТЭР в 2000–2050 гг.**



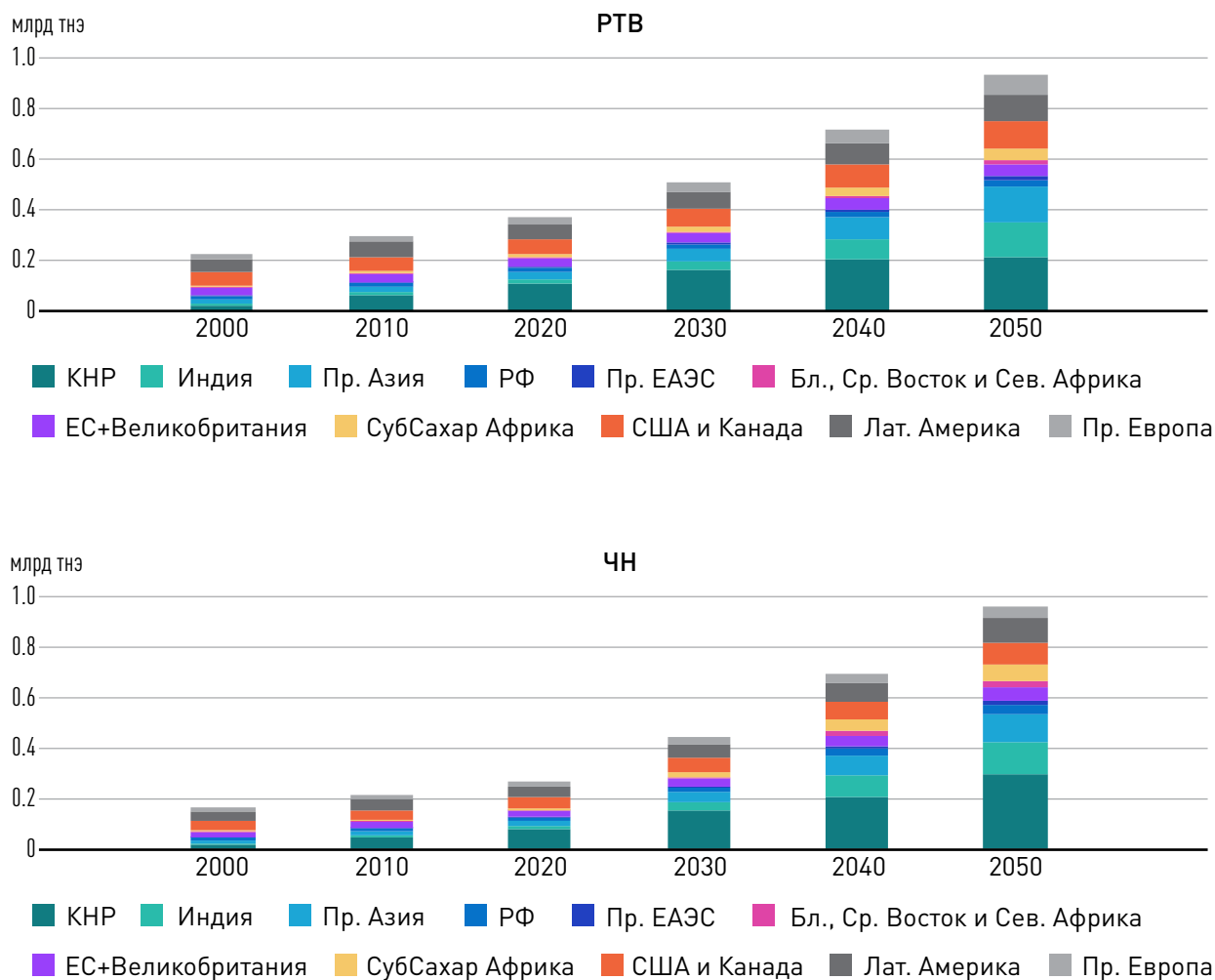
**Рис. 11. Выработка электроэнергии на объектах ВИЭ (СЭС, ВЭС, Геотерм, биотопливо)**



Ведущая роль в декарбонизации электроэнергетики в сценариях РТВ и ЧН принадлежит стремительному увеличению использования ВИЭ (ветровой, солнечной, геотермальной/приливной энергии и биотоплива). В сценарии РТВ использование ВИЭ в мировой электроэнергетике растёт с 2022 г. по 2050 г. почти в шесть раз (+495%), а в ЧН — более чем в восемь раз (+773%) (Рис. 11). К 2050 г. в сценарии ЧН потребность в ВИЭ превышает их использование в сценарии РТВ почти в полтора раза (+47%).

Учитывая прерывистый характер работы таких ВИЭ как ветровая (ВЭС) и солнечная (СЭС) энергетика, в обоих сценариях приходится наращивать использование и традиционных безуглеродных источников электроэнергии: гидро- и атомные электростанции (ГЭС и АЭС соответственно). С 2022 г. по 2050 г. мировая выработка электроэнергии на ГЭС растёт в сценарии РТВ на 136%, а в сценарии ЧН — на 238% (Рис. 12). К 2050 г. в сценарии ЧН потребность в гидроэнергетике превышает её в сценарии РТВ на 43%.

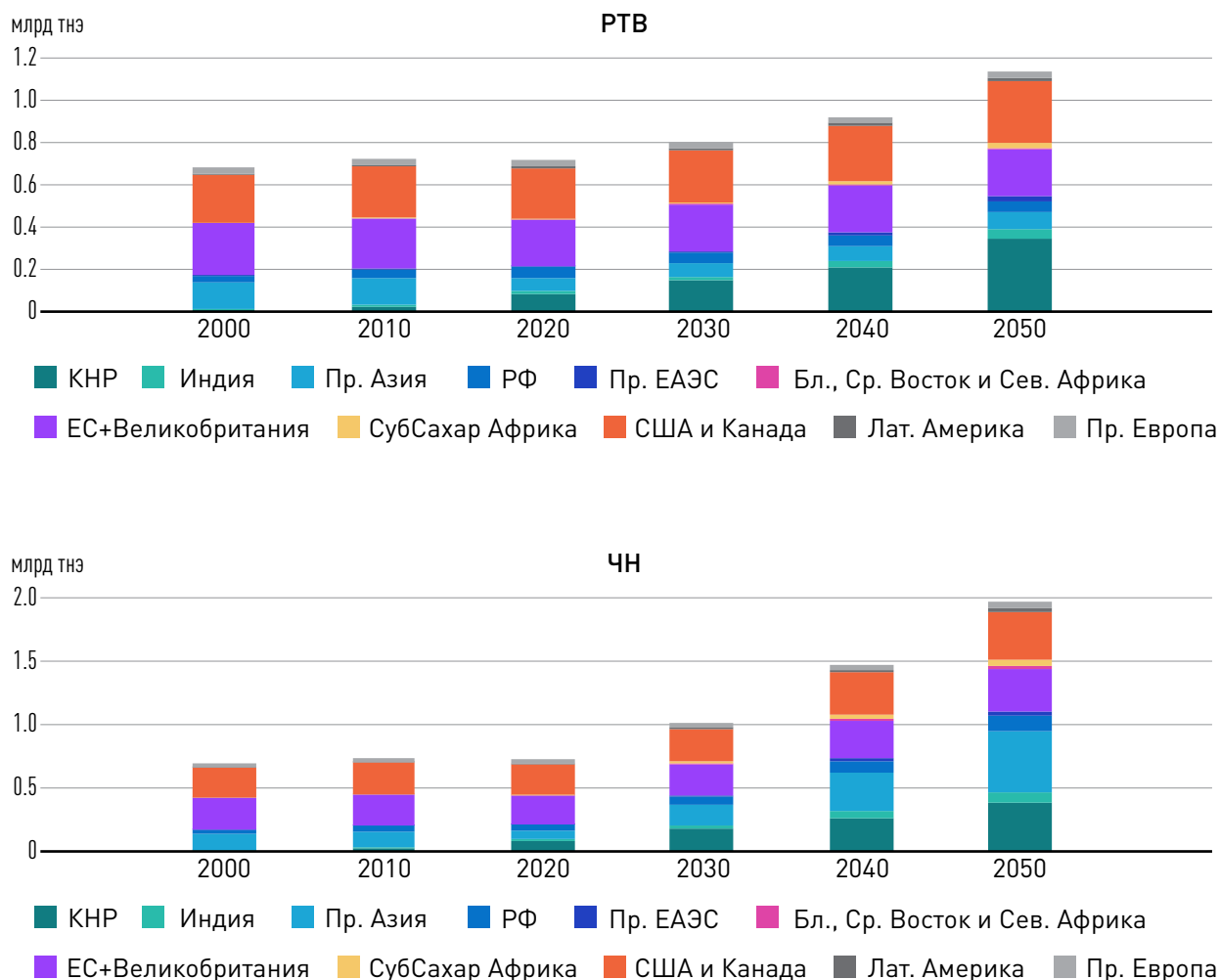
**Рис. 12. Выработка электроэнергии на ГЭС**



Аналогичным образом выглядит развитие атомной энергетики. С 2022 г. по 2050 г. мировая выработка электроэнергии на АЭС растёт в сценарии РТВ на 56%, а в сценарии ЧН — на 166% (Рис. 13). К 2050 г. в сценарии ЧН потребность в атомной энергии превышает её в сценарии РТВ на 71% (!).

Среди тенденций конечного потребления выделяется стремительный рост потребления электроэнергии и водорода. Потребление электроэнергии растёт в прогнозном периоде в сценарии ВКВ на 87% (до 3.8 млрд тнэ), в сценарии РТВ — в 2.3 раза (до 4.9 млрд тнэ), а в сценарии ЧН — в 2.5 раза (до 5.4 млрд тнэ).

**Рис. 13. Выработка электроэнергии на АЭС**

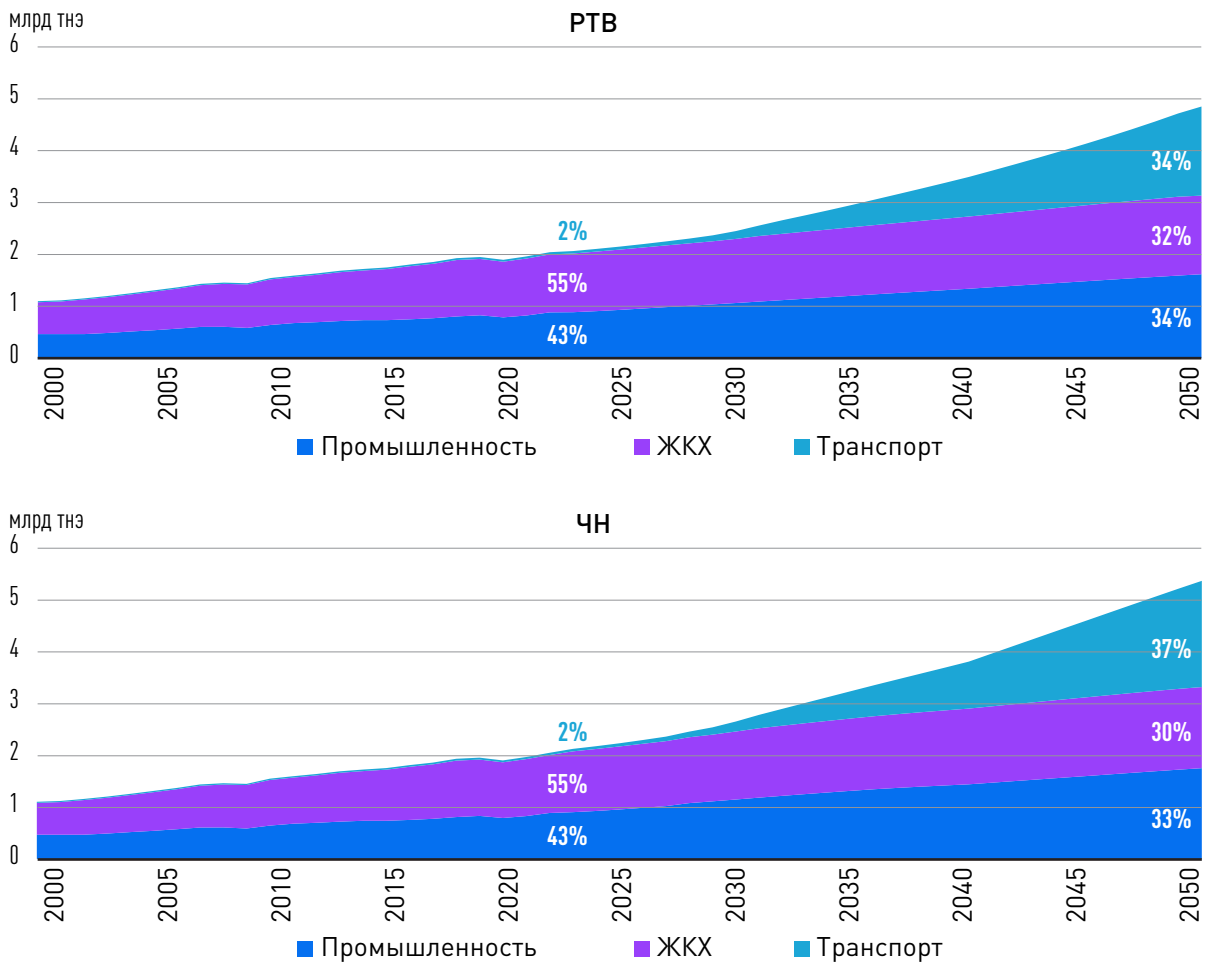


Потребление водорода не претерпевает заметных изменений в прогнозном периоде в сценарии ВКВ. Но в сценариях РТВ и ЧН стремительно растёт: более чем на 10000% (до 0.6 млрд тнэ, или более 200 млн т H<sub>2</sub> в 2050 г.) и 11000% (до 1.1 млрд тнэ, более 370 млн т H<sub>2</sub>) соответственно.

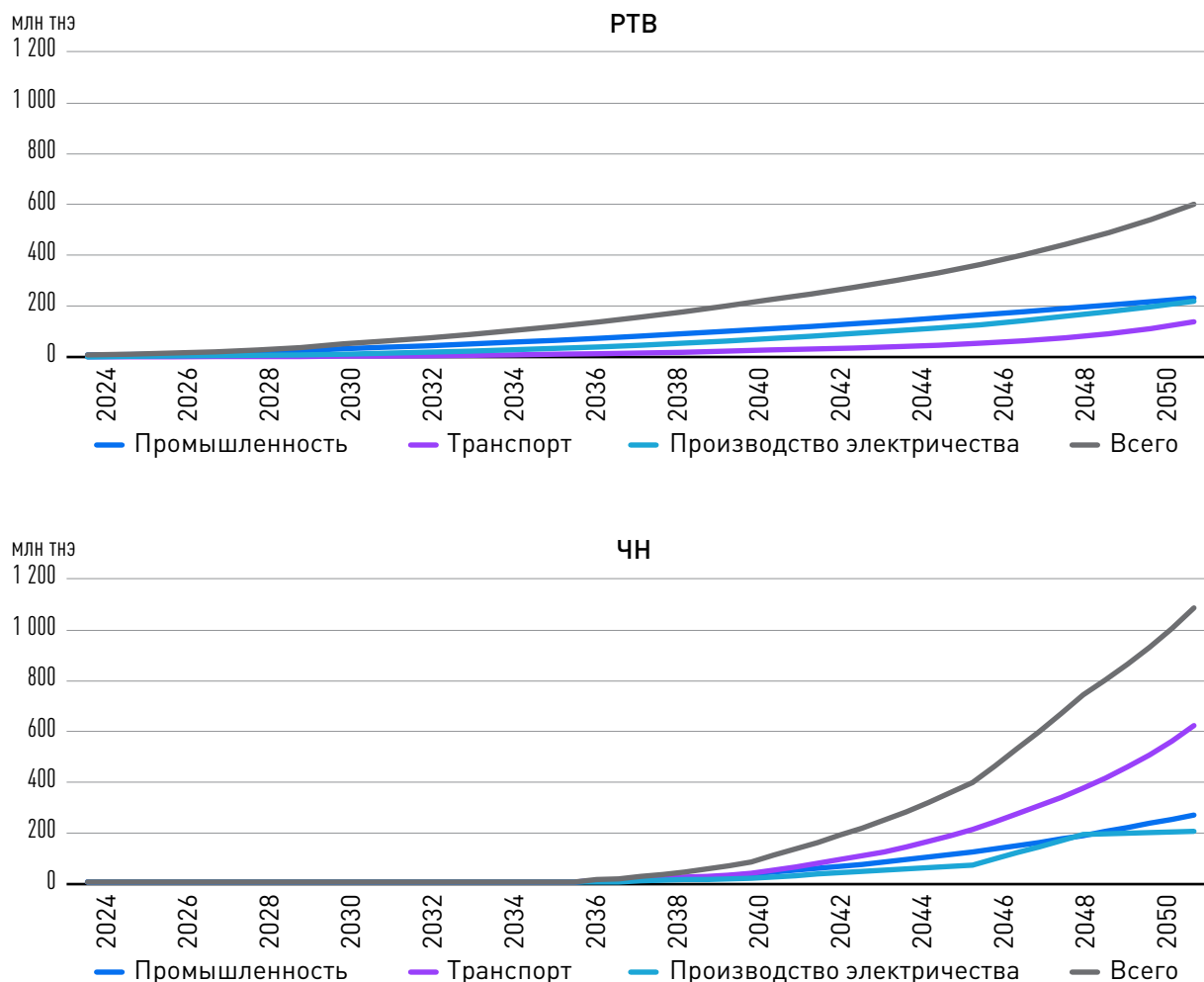
Изменение потребления первичных топливно-энергетических ресурсов представлено в Таб. 1.



**Рис. 14. Ускоренная электрификация — основной тренд энергоперехода в конечном потреблении энергоресурсов**



**Рис. 15. Развитие водородной энергетики – ещё один фактор энергоперехода**



**Табл. 1. Потребление первичных ТЭР, тыс. тнэ**

	2022	2050 ВКВ	2050 РТВ	2050 ЧН
ЖУВ	4 216 780	5 241 046	2 555 518	1 217 772
Природный газ	2 968 982	4 613 219	3 743 252	1 398 758
Уголь	3 590 440	4 256 845	2 448 146	366 989
Биотопливо	1 263 045	2 004 127	1 930 892	1 221 369
ГЭС	396 555	706 390	936 822	1 339 250
АЭС	725 140	1 172 057	1 129 323	1 925 837
ВЭС	188 270	261 560	1 957 962	3 645 519
СЭС	84 562	142 060	568 464	1 050 018
ГеоЭС/приливныеЭС	93 021	143 782	374 221	185 986
Прочее	40 489	58 456	6 686	3 325
<b>Итого первичные ТЭР</b>	<b>13 567 283</b>	<b>18 599 542</b>	<b>15 651 286</b>	<b>12 354 823</b>

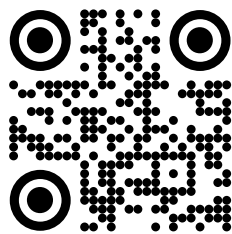
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Практически все команды, с которыми мы сравнили полученные нами результаты, рассматривали так же как и мы минимум три сценария долгосрочного развития мировой энергетики. В «стандартный» набор входят сценарии типа ВКВ (часто именуемые BAU — business as usual), РТВ (обычно называемые сценариям реформ или ускоренных реформ) и ЧН (достижение углеродной нейтральности к 2050 г.). Уже само по себе такое единодушие в рассмотрении крайне отличающихся сценариев иллюстрирует высокую неопределённость конкретных путей декарбонизации мировой энергетики. Ещё более красноречиво подчёркивают данную неопределённость и различия между аналогичными сценариями в различных прогнозах.

При всей этой неопределённости некоторые выводы представляются достаточно определёнными:

- Участившиеся наглядные последствия изменения климата не позволят остановить энергопереход даже в наиболее неблагоприятные годы для энергетических рынков (например, таких как сейчас). Развитие по сценарию ВКВ практически исключено.
- Однако возникают и сильные сомнения и в реализуемости сценария ЧН. При всей привлекательности достижения углеродной нейтральности к 2050 г. требующиеся для этого инвестиции превосходят возможности мировой экономики и могут создать серьёзные препятствия в достижении не менее важных целей социально-экономического развития (включая ЦУР № 7 ООН).
- В рамках более вероятных сценариев менее радикальной трансформации мировой энергетики, чем ЧН, просматриваются определённые закономерности. Доля электроэнергии в конечном потреблении заметно вырастет. Это затронет все сектора: транспорт, ЖКХ, промышленность. В конечном потреблении также возрастёт (хотя и в меньших масштабах) роль водорода и современных типов биотоплива. Доля электроэнергии, вырабатываемая на ВИЭ, будет расти. Однако нарастание проблем балансировки сети и обеспечения базовой (постоянной) нагрузки по мере роста доли ВИЭ, а также заметно более высокая капиталоемкость ВИЭ в сочетании со значительно более коротким сроком службы ВЭС и СЭС сохранит потребность в традиционных способах выработки электроэнергии: от безуглеродных АЭС до газовых и даже угольных электростанций.
- Водород остаётся одним из самых дорогих способов декарбонизации. Его использование будет развиваться в основном в тех процессах, в которых применение более дешёвых путей снижения углеродного следа не представляется возможным.
- Вероятность появления коммерческой возможности использовать прорывные технологии (термояд, передача энергии с Луны и т. п.) не нулевая, но крайне низкая.
- В связи с экономической нецелесообразностью слишком радикального замещения традиционных углеродных источников энергии на безуглеродные необходимо развитие поглощающей способности экосистем, включая масштабирование перспективных технологий прямого улавливания CO<sub>2</sub> из атмосферы и мирового океана. Это в том числе ослабит груз труднорешаемых проблем международного финансирования климатических проектов в развивающихся странах.
- Снижение совокупной потребности в ископаемых углеводородных ресурсах приведёт к сокращению мировой торговли в целом. Торговля новыми типами энергии не компенсирует выпадающие объёмы торговли традиционными энергоресурсами, и прежде всего нефти, которая в наше время во много раз превосходит объёмы торговли любыми другими природными ресурсами.



**РЭА**  
МИНЭНЕРГО РОССИИ