

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
И ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»**

Луговой О.В., Поташников В.Ю.

Оценка глобального спроса на энергию до 2050 года

Москва 2017

Аннотация. Мировая энергетическая система переживает серьезные изменения под влиянием ряда факторов. С одной стороны, экономический рост развивающихся стран сдвигает спрос на энергоносители в сторону все более высоких уровней, повышая цены, и стимулируя инвестиции как в геологоразведку, развитие технологий добычи, так и в развитие возобновляемых источников энергии по всему миру. С другой стороны, технологический прогресс, нереализованный потенциал энергоэффективности спроса на энергию, растущая экологическая нагрузка от использования ископаемых видов топлив, глобальные климатические изменения, приводят к снижению конечного спроса на энергию и изменению его структуры в пользу более «чистых» источников. Для России, крупнейшего производителя и экспортера энергоресурсов, понимание и прогнозирование данных изменений является важной и актуальной задачей в формировании долгосрочной стратегии роста.

Луговой О.В. научный руководитель центра экономического моделирования энергетики и экологии ИПЭИ Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ

Поташников В.Ю. старший научный сотрудник центра экономического моделирования энергетики и экологии ИПЭИ Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ

Данная работа подготовлена на основе материалов научно-исследовательской работы, выполненной в соответствии с Государственным заданием РАНХиГС при Президенте Российской Федерации на 2016 год.

ОГЛАВЛЕНИЕ

РАЗРАБОТКА ГЛОБАЛЬНОЙ МУЛЬТИ-РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	4
ОЦЕНКА ГЛОБАЛЬНОГО СПРОСА НА ЭНЕРГИЮ ДО 2050 ГОДА ПО СЦЕНАРИЯМ	5
ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ГЛОБАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА В ДОЛГОСРОЧНОМ ПЕРИОДЕ ПО СЦЕНАРИЯМ.....	12
ПРОГНОЗ ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕМОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ В ДОЛГОСРОЧНОМ ПЕРИОДЕ.....	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	26
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	31

РАЗРАБОТКА ГЛОБАЛЬНОЙ МУЛЬТИ-РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Разработка модели проводилась с применением модельного пакета “energyRt” (Луговой, Поташников, 2016) в программной среде R (r-project.org). Калибровка энергетического сектора проводилась для каждого региона в отдельности и состоит из спецификации блоков:

- ресурсов (ископаемого топлива, возобновляемых ресурсов, материалов и др.);
- торговли основными видами энергоресурсов и конечной продукцией;
- конечного спроса (производство таких видов продукции и услуг, как сталь, пассажиро- и грузо-перевозки различными видами транспорта, жилищный фонд, и др.) и его драйверов (показатели экономической активности, демографии, и др.);
- технологическая структура производства и конечного спроса (набор технологий промышленности, основных фондов, зданий, транспорта) базового года;
- набор альтернативных («новых») технологий, доступных для инвестирования;
- основные показатели текущей и рассматриваемой политики и других ограничений на эндогенные переменные модели, структуру производства, и др.

Исходя из конфигурации мировой торговли и основных торговых партнеров России, в модель были выделены 11 регионов:

1. Россия
2. Бразилия
3. Индия
4. Китай

5. Канада
6. Южно-Африканская Республика
7. Австралия
8. Страны опек ОПЕК — Исламская Республика Иран, Ирак, Кувейт, Саудовская Аравия, Венесуэла, Катар, Индонезия, Ливия, Объединенные Арабские Эмираты, Алжир, Нигерия, Эквадор, Габон, Ангола
9. США
10. Евросоюз (в составе 28 стран) — Австрия, Бельгия, Болгария, Хорватия, Кипр, Чехия, Дания, Эстония, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Венгрия, Ирландия, Италия, Латвия, Литва, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Польша, Португалия, Румыния, Словакия, Словения, Испания, Швеция, Соединенное Королевство.
11. И остальной мир.

ОЦЕНКА ГЛОБАЛЬНОГО СПРОСА НА ЭНЕРГИЮ ДО 2050 ГОДА ПО СЦЕНАРИЯМ

В данном разделе приводятся основные результаты проведенного анализа, а именно оценка структуры глобального энергетического баланса и оценка прогнозов физических объемов международной торговли. В качестве сценариев были выбраны сценарии, приведенные в техническом резюме Пятого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата: «Изменение климата, 2014 г. Смягчение воздействий на изменение климата» [14], с учетом принятых странами обязательств на Конференции по климату в Париже в конце 2015 года [15] и вступление соглашения в силу 4 ноября 2016 года [16].

На рисунке 1 показаны ключевые характеристики сценариев, собранных и оцененных для 5 оценочного доклада III рабочей группы МГЭИК (Межправительственная группа экспертов по изменению климата). На рисунке указаны углеродные бюджеты для всех парниковых газов с 2011 по 2050 год, которые были использованы в качестве ограничения на общий уровень эмиссии. Ограничения на общий уровень эмиссии накладывает ограничение на энергетическое использование ископаемых видов топлива, при сжигании которых выделяются парниковые газы, преимущественно CO₂. При анализе авторы ограничились только CO₂ от сжигания ископаемых видов топлива, для чего авторы предположили, что соотношение эмиссии CO₂ от сжигания ископаемых видов топлива к общей эмиссии парниковых газов останется неизменным.

Концентрации CO ₂ экв в 2100 г. [млн ⁻¹ ·CO ₂ экв]	Подкатегории	Относительная позиция РТК ⁵	Суммарные выбросы CO ₂ ³ [ГтCO ₂]		Изменение в выбросах CO ₂ экв по сравнению с 2010 г. в [%] ⁴		Изменение температуры (относительно 1850–1900) ^{5, 6}					
			2011–2050 гг.	2011–2100 гг.	2050 г.	2100 г.	2100 г. Изменение температуры (°C) ⁷	Правдоподобие сохранения более низкого уровня температуры в течение XXI века ⁸				
								1,5 °C	2,0 °C	3,0 °C	4,0 °C	
<430	Только в ограниченном числе отдельных модельных исследований изучались уровни ниже 430 млн ⁻¹ CO ₂ экв											
450 (430–480)	Весь диапазон ^{1,10}	РТК2.6	550–1300	630–1180	-72 до -41	-118 до -78	1,5–1,7 (1,0–2,8)	Скорее маловероятно, чем вероятно	Вероятно	Вероятно	Вероятно	
500 (480–530)	Никакого превышения 530 млн ⁻¹ CO ₂ экв		860–1180	960–1430	-57 до -42	-107 до -73	1,7–1,9 (1,2–2,9)	Маловероятно	Скорее вероятно, чем нет			
	Превышение 530 млн ⁻¹ CO ₂ экв		1130–1530	990–1550	-55 до -25	-114 до -90	1,8–2,0 (1,2–3,3)		Почти также вероятно, как и нет			
550 (530–580)	Никакого превышения 580 млн ⁻¹ CO ₂ экв		1070–1460	1240–2240	-47 до -19	-81 до -59	2,0–2,2 (1,4–3,6)		Скорее маловероятно, чем вероятно ¹²			Вероятно
	Превышение 580 млн ⁻¹ CO ₂ экв		1420–1750	1170–2100	-16 до 7	-183 до -86	2,1–2,3 (1,4–3,6)					
(580–650)	Весь диапазон	РТК4.5	1260–1640	1870–2440	-38 до 24	-134 до -50	2,3–2,6 (1,5–4,2)		Маловероятно			Скорее вероятно, чем нет
(650–720)	Весь диапазон		1310–1750	2570–3340	-11 до 17	-54 до -21	2,6–2,9 (1,8–4,5)					
(720–1000)	Весь диапазон	РТК6.0	1570–1940	3620–4990	18 до 54	-7 до 72	3,1–3,7 (2,1–5,8)			Маловероятно	Скорее маловероятно, чем вероятно	
>1000	Весь диапазон	РТК8.5	1840–2310	5350–7010	52 до 95	74 до 178	4,1–4,8 (2,8–7,8)	Маловероятно ¹¹	Маловероятно ¹¹	Маловероятно	Скорее маловероятно, чем вероятно	

Рисунок 1 – Ключевые характеристики сценариев, собранных и оцененных для 5 оценочного доклада III рабочей группы МГЭИК. Для всех параметров показаны 10-й и 90-й процентиль сценариев[14]

Цели, заявленной на климатической конференции в Париже 2015 года, не превышения средней глобальной температуры более чем на два градуса Цельсия (по возможности не превышения до 1.5 градусов) по сравнению с доиндустриальным уровнем соответствует углеродный бюджет в 550 — 1300 ГтCO₂экв. Заметим, что при использовании верхней границы диапазона соответствующего сценарию 2°C в 1300 ГтCO₂экв, в период с 2050 по 2100 год необходимо сократить эмиссию до отрицательных значений, что возможно либо насаждением лесов, либо (пока только теоретически) при помощи технологии CCS (Carbon Capture and Sequestration — Улавливание и Хранение Углерода) вместе с биотопливом, либо биотехнологиями (бактерии и растения, поглощающие двуокись углерода). При построении сценариев были выбраны уровни эмиссии в диапазоне от 550 до 1250 ГтCO₂экв (550, 860, 1070 и 1250 ГтCO₂экв), что соответствует эмиссии 378, 591, 736 и 860 ГтCO₂ от сжигания ископаемых видов топлива.

В таблице Таблица 1 указан максимальный объем сжигания топлива удовлетворяющий углеродному бюджету и соотношение максимального объема сжигания топлива удовлетворяющего углеродному бюджету к текущему потреблению для того чтобы оценить, как ограничение на эмиссию от сжигания ископаемых видов топлива значимы для возможного развития мировой энергетической системы. Например, для сценария с минимальным углеродным бюджетом поддерживать текущий уровень сжигания угля, при условии отказа от остальных ископаемых видов топлива, возможно в течение 25 лет, а с максимальным углеродным бюджетом 56 лет. При текущем уровне эмиссии углеродный бюджет исчерпается через 11 — 25 лет, в зависимости от сценария. Для того чтобы удовлетворить углеродному бюджету эмиссия CO₂ должна в среднем ежегодно сокращаться на 8.6%, 4.9%, 3.4% и 2.4% для углеродных бюджетов 550 ГтCO₂экв, 860 ГтCO₂экв, 1070 ГтCO₂экв и 1250 ГтCO₂экв соответственно.

Таблица 1 — Максимальный объем сжигания топлива, удовлетворяющий углеродному бюджету и Соотношение максимального объема сжигания топлива удовлетворяющего углеродному бюджету к текущему потреблению.

Ограничение на эмиссию CO ₂ от сгорания топлива, ГтCO ₂	Топливо	Максимальный объем сжигания топлива удовлетворяющий углеродному бюджету, ГтCO ₂	Соотношение максимального объема сжигания топлива удовлетворяющий углеродному бюджету к текущему потреблению, лет
550	Уголь	3968	25
860	Уголь	6204	39
1070	Уголь	7719	48
1250	Уголь	9018	56
550	Природный газ	6743	53
860	Природный газ	10543	83
1070	Природный газ	13118	103
1250	Природный газ	15324	120
550	Нефть	4365	28
860	Нефть	6825	44
1070	Нефть	8491	55
1250	Нефть	9920	64

Для того чтобы стало возможным удовлетворить углеродному бюджету до 2050 года необходимо перестроить энергетическую систему на использование менее углеродоемких видов энергии (включая возобновляемую энергетику и применение биотоплива), повышение энергоэффективности и электрификации конечного потребления где это возможно.

Важной опцией при сокращении уровня эмиссии соответствующей цели 2 градусам Цельсия является возможность применения технологии Улавливания и Захоронения Углерода. Возможность масштабного применения технологии CCS не проверено на практике, несмотря на существования пилотных проектов электростанций с CCS. В таблице указаны основные параметры сценариев глобальной энергетики.

Всего используется 7 сценариев: сценарии с четырьмя вариантами уровня углеродного бюджета (550, 860, 1070 и 1250 ГтCO₂экв) без применения технологии улавливания и захоронения углерода, два дополнительных сценария с возможностью применения технологии CCS, но не более 25 ГтCO₂ для двух наиболее ограничительных сценариев в 550 ГтCO₂ и 860 ГтCO₂, и

дополнительный сценарий без ограничения на применение технологии CCS для наименьшего углеродного бюджета.

Таблица 2 — Основные параметры сценариев глобальной энергетики

Сценарий	Углеродный бюджет, ГтCO ₂ экв	Углеродный бюджет от сжигания ископаемых видов топлива, ГтCO ₂	Применение технологии Улавливание и Хранение Углерода, ГтCO ₂
550	550	378	неограниченно
550 lo CCS	550	378	25 ГтCO ₂
550 no CCS	550	378	не применяется
860 lo CCS	860	591	25 ГтCO ₂
860 no CCS	860	591	не применяется
1070 no CCS	1070	736	не применяется
1250 no CCS	1250	860	не применяется

На рисунке Рисунок 2 показаны основные уровни эмиссии и масштаб применения технологии Улавливание и Хранение Углерода. Согласно результатам углеродный бюджет является ограничивающим фактором во всех сценариях, равно, как и масштаб применения технологии CCS. В сценарии, где применение технологии CCS ограничено только экономической эффективностью, объем улавливания и хранения углерода составляет 147.7 для сценария «550 no CCS».

В качестве основных технологических предпосылок следует отнести:

1. Потенциал роста потребления биотоплива в мире с 53 ЭДж в 2012 году до 110 ЭДж в 2050 году.
2. Снижение потерь при транспортировке тепла и электроэнергии до 5%.
3. Возможность построения более дорогих зданий с энергоэффективностью 25 кВтч/м²/год, что соответствует минимальной границы рейтинга энергоэффективности домов A1 Ирландии DWELLING ENERGY ASSESSMENT PROCEDURE (DEAP) [17].
4. Рост энергоэффективности автомобильного транспорта до 5 л на 100 км, с возможностью транспортировки на бензине, природном газе и электроэнергии.

5. Рост доли возобновляемой энергетики при производстве электроэнергии в мире до 80%.
6. Повышение энергоэффективности промышленности не более чем в два раза, с возможностью более широкого применения электричества, тепловой энергии, биотоплива и природного газа. Согласно опыту работы авторов по моделированию российской энергетической системы, потенциал роста энергоэффективности промышленности не более чем в два раза является заниженной оценкой от общего потенциала.
7. Рост мировой экономики в среднем на 3% в год.
8. Рост численности населения согласно медианному прогнозу ООН в редакции 2015 года[13].

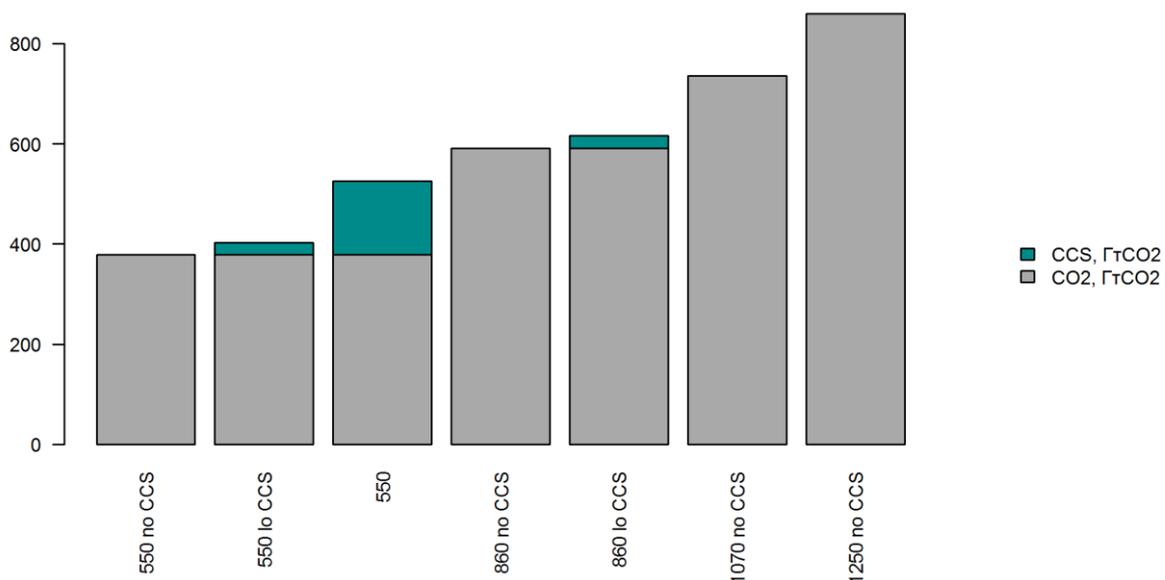


Рисунок 2 — Уровень эмиссии и объем улавливания и хранения углерода по сценариям, ГтCO₂

ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ГЛОБАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА В ДОЛГОСРОЧНОМ ПЕРИОДЕ ПО СЦЕНАРИЯМ

Как отмечалось ранее достижение цели не превышения средней мировой температуры более чем на 2 градуса Цельсия необходимо значительно снизить эмиссию, что достижимо в первую очередь за счет декарбонизации производства электроэнергии, электрификации конечного потребления, где это возможно и снижение энергоемкости. На рисунке 3 Рисунок 3 показаны основные драйверы декарбонизации в сценарии «550 по CCS». Углеродоемкость производства электроэнергии в мире снизилась до 39 гСО₂/кВтЧ в 2050 году с 564 гСО₂/кВтЧ в 2012 году. Столь значительное снижение углеродоемкости производства электроэнергии не является чем то радикальным. Так при текущем уровне технологий возможна генерация электроэнергии на ископаемых видах топлива с эмиссией 14 гСО₂/кВтЧ, в то время как на графике указаны данные по все электроэнергетики, включая возобновляемую энергетику, биотопливо и атом.

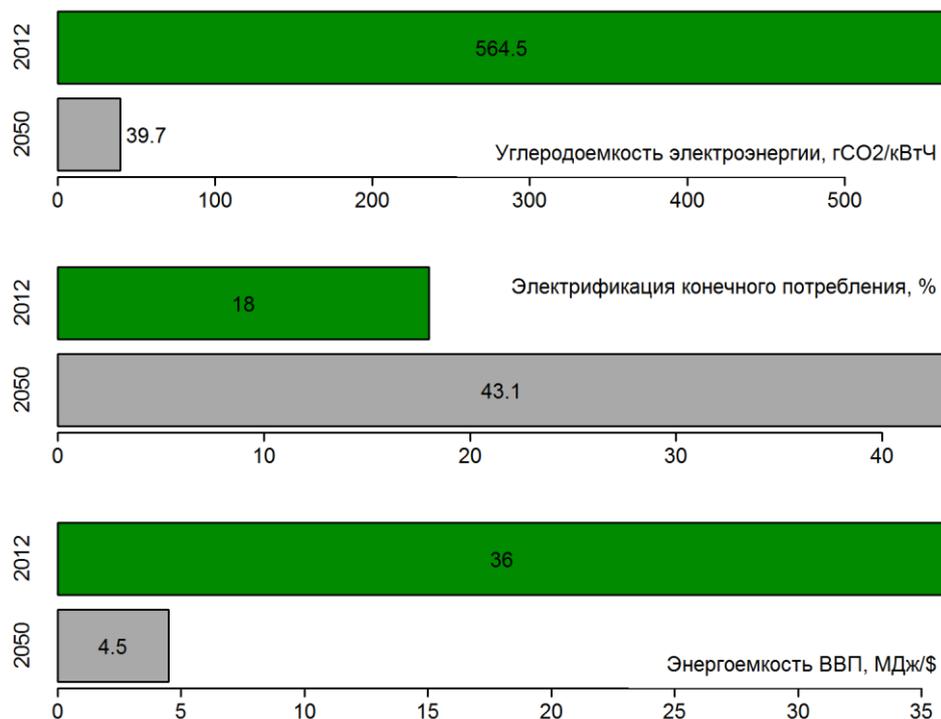


Рисунок 3 — Основные драйверы декарбонизации в сценарии «550 по CCS»

Электрификация конечного потребления выросла в сценарии «550 по CCS» с 18% в 2012 году, до 43% в 2050 году. В сценарии с не ограниченным применением технологии CCS доля электроэнергии в конечном потреблении составляет 47% из-за дополнительной возможности генерирования электроэнергии с низким уровнем эмиссии. В менее ограничительных сценариях доля электрификации составляет 41.5%, 35.7% и 30% для сценариев «860 по CCS», «1070 по CCS» и «1250 по CCS» соответственно.

Энергоемкость ВВП снижается с 36 МДж на доллар США в 2012 году, до 4.5 МДж на доллар США в 2050 году в постоянных ценах, что вызвано ростом глобального ВВП и снижением первичного потребления ископаемых видов топлива связанных с углеродными бюджетами. На рисунке 4 показана структура первичного потребления энергии ископаемых видов топлива и биотоплива в сценарии «550 по CCS» в мире. Сильнее всего сократилось потребление угля — наиболее углеродоемкого вида топлива. Доля угля сократилась с 32% в глобальном энергобалансе до 4.2%, или в абсолютном значении со 159 ЭДж до 8.1 ЭДж. В построенных сценариях уголь преимущественно используется для нужд черной

металлургии и практически перестает использоваться для электроэнергетики, и отопления.

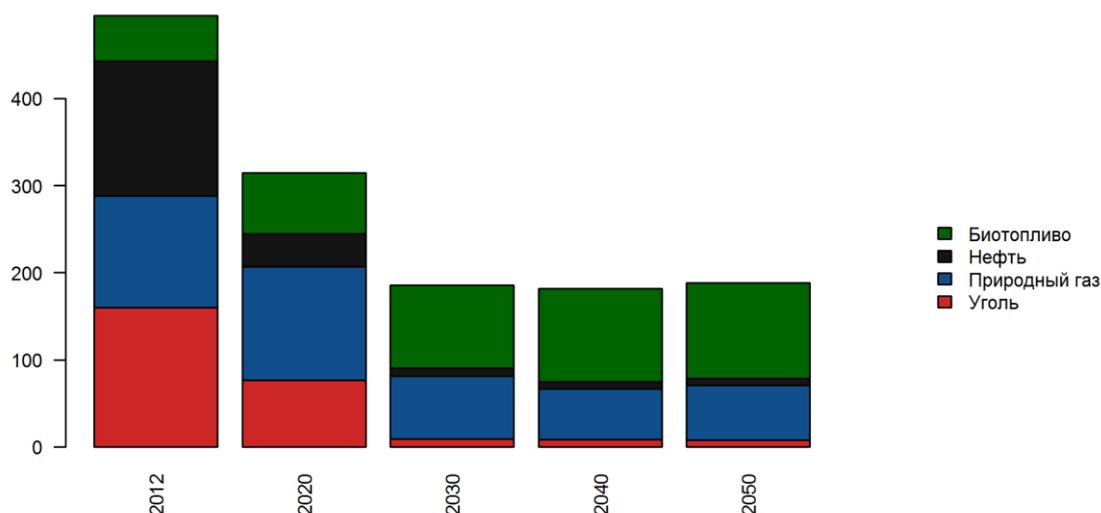


Рисунок 4 — Структура первичного потребления энергии ископаемых видов топлива и биотоплива в сценарии «550 по CCS», ЭДж

В настоящее время нефть является вторым по объемам потребления ископаемым источником энергии после угля и составляет 155 ЭДж. Наибольшая часть нефти и нефтепродуктов потребляется в транспорте (97.5 ЭДж), преимущественно в дорожном (74.9 ЭДж). Технологические прорывы последнего времени в производстве электрокаров, и возможность замещения нефтепродуктов природным газом и биотопливом для автомобилей грузового транспорта позволяет практически полностью сократить потребление нефти.

В сценарии «550 по CCS» использование нефти сократилось со 155 ЭДж до 8.5 ЭДж, в первую очередь за счет перехода транспорта, преимущественно дорожного с нефтепродуктов на электроэнергию (автомобильный транспорт), природный газ (автомобили, грузовики и автобусы) и биотопливо, а также отказа использования нефтепродуктов для нужд электроэнергетики.

Потребление природного газа, наименее углеродоемкого вида топлива и одновременно наиболее удобного в технологическом отношении во многих

технологических процессах, сократилось не так сильно со 128 ЭДж до 62.3 ЭДж в 2050 году. На фоне общего сокращения использования ископаемых видов топлива привело к повышению доли природного газа до 33% в 2050 году с 25.8% в 2012 году.

На рисунке 5 показана структура первичного потребления ископаемых видов топлива и биотоплива по сценариям. Общей закономерностью является рост использования ископаемых видов топлива при увеличении углеродного бюджета или при снижении увеличения доступности технология вливания и хранения углерода. При этом даже в самом не ограничительном сценарии «1250 по CCS» потребление угля снижается вдвое, так же как и потребление нефти и нефтепродуктов, а потребление природного газа растет на 37 ЭДж или на 29 % по сравнению с 2012 годом.

Для всех остальных сценариев снижение потребления угля и нефти остается значительным по сравнению с базовым 2012 годом. Так, например, потребление угля варьируется от 8 до 17 ЭДж, а потребление нефти от 8.5 ЭДж до 30 ЭДж. Потребление биотоплива довольно стабильно и ограничивается предпосылкой на доступность биотоплива. Данная предпосылка довольно пессимистична по отношению к возможности применения биотоплива, так как в качестве биотоплива возможно использовать не только специально выращенные сельскохозяйственные культуры, но и остатки сельскохозяйственного производства и деревообрабатывающей промышленности, потенциал которых значителен для подавляющего большинства стран.

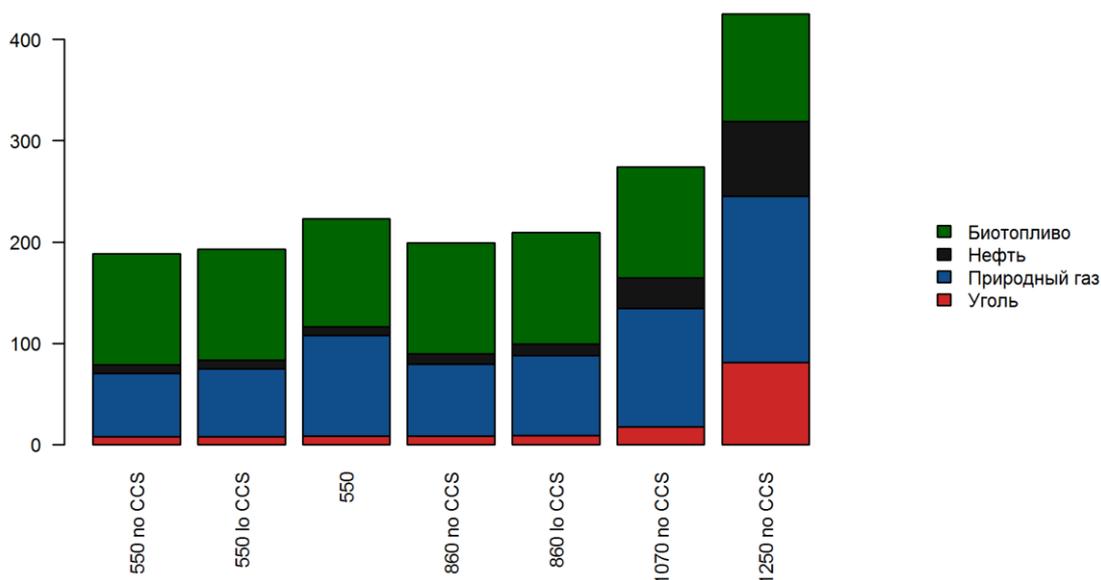


Рисунок 5 — Структура первичного потребления ископаемых видов топлива и биотоплива по сценариям, ЭДж

Более активное использование природного газа наблюдается в сценарии 550 без ограничения на технологию улавливания и захоронения CO₂ и составляет 99 ЭДж.

По результатам анализа наиболее вероятным представляется, что в сценариях, согласующихся с целью не превышения средней глобальной температуры более чем на 2 градуса Цельсия по сравнению с доиндустриальным уровнем, будет наблюдаться значительное снижение потребления угля и нефти в среднем в 5 — 10 раз. С другой стороны потребление природного газа будет снижаться не столь значительно не более чем в 2 раза.

Для понимания структуры мирового энергобаланса необходимо рассмотреть структуру производства электроэнергии. Электроэнергия производится не только с помощью ископаемых видов топлива и биотоплива рассмотренных ранее, но и из атомной энергии, больших гидроэлектростанций, и возобновляемой энергетикой.

Среди различных видов возобновляемой энергетике наибольшее внимание привлекает солнечная энергетика и ветряки из-за значительного ввода новых мощностей в последние десятилетие и удешевления производства.

Например, согласно IRENA (International Renewable Energy Agency — Международное агентство по возобновляемым источникам энергии) в мире установлено 431 ГВт ветровой электроэнергии, из которых 145 ГВт находится в Китае, 25 ГВт в Индии, 143 ГВт в Европе и 72 ГВт в США [18]. В России минэнерго изучает возможность строительства ветропарка в Дальневосточном Федеральном Округе на 50 — 70 ГВт[19]. Установленная мощность солнечной энергетики составляет 227 ГВт, из которых 43 ГВт находится Китая, 33 ГВт в Японии, 98 ГВт в Европе и 29 ГВт в Северной Америке[18]. Для сравнения установленная мощность все электроэнергетики России составляет 235.3 ГВт[20].

На рисунке 6 показана средняя взвешенная стоимость электроэнергии в зависимости от региона и типа станции, из которого следует что электроэнергия произведенная на биотопливе, гидростанциях и ветряки расположенные на земле являются конкурентоспособными во всех регионах по сравнению с электроэнергией произведенной на ископаемых видах топлива.

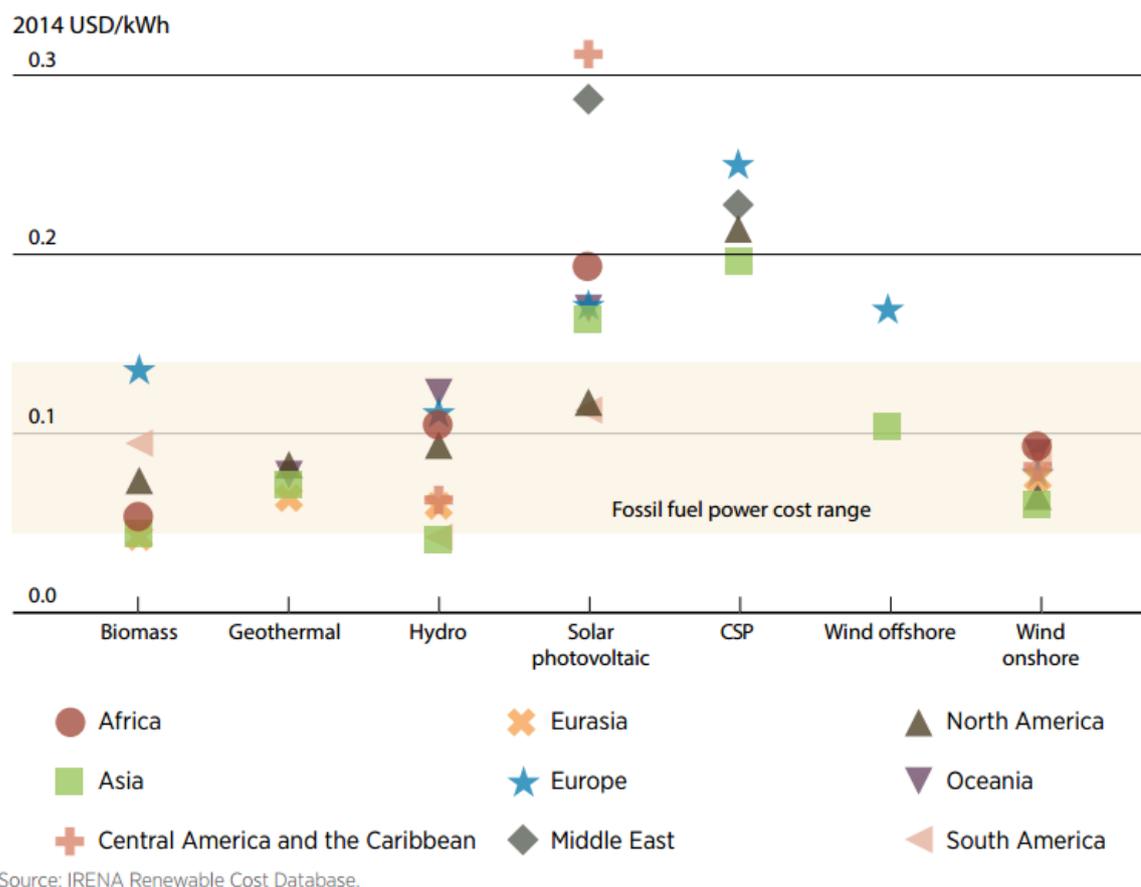


Рисунок 6 — Средневзвешенная стоимость электроэнергии по регионам доллары на киловатт час[21]

Солнечные электростанции все еще являются довольно дорогими по состоянию на 2014 год. Основываясь на динамике удешевления солнечных панелей и того что электроэнергия произведено солнечных панелей уже конкурентоспособны в регионах северной и южной Америки можно предположить, что солнечная энергетика в ближайшем будущем будет конкурентоспособна и в других регионах.

На рисунке 7Рисунок 7 показана структура производства электроэнергии в сценарии «550 по CCS». В сценарии «550 по CCS» генерирование электроэнергии на угле и нефти к 2050 году прекращается с текущих 30 ЭДж и 3.3 ЭДж соответственно. Возобновляемые источники электроэнергии напротив значительно увеличивает свою долю в генерации электроэнергии. С помощью солнечных панелей и ветряков в 2050 году генерируется 39.5 ЭДж и 49.5 ЭДж электроэнергии соответственно, что составляет 59% от общей генерации энергии.

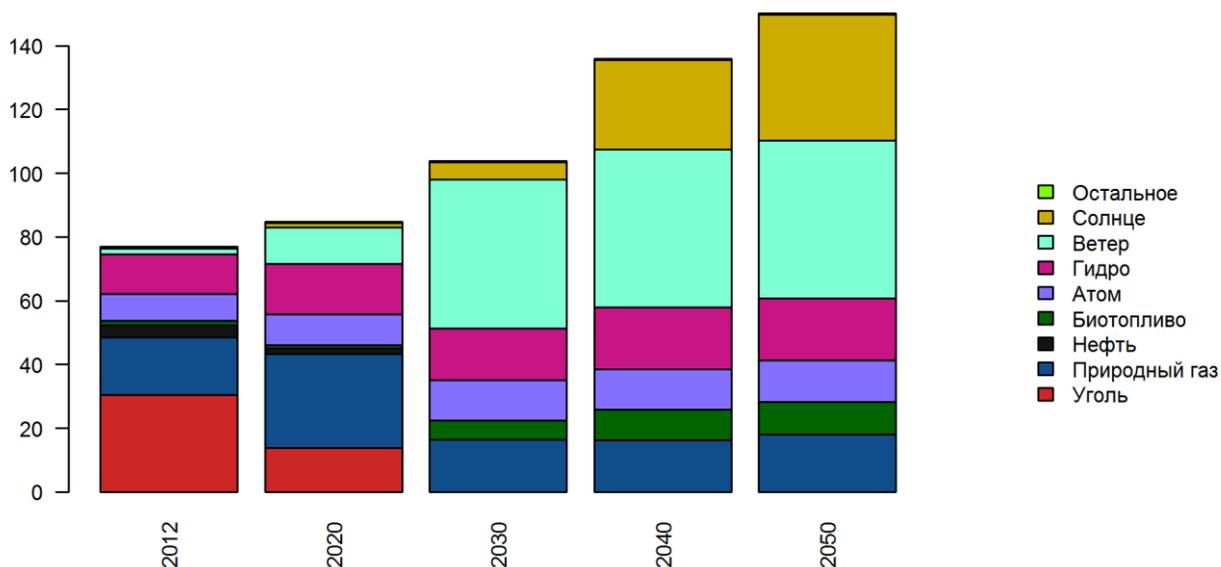


Рисунок 7 — Структура производства электроэнергии в сценарии 550 по CCS, ЭДж

Генерация электроэнергии атомными электростанциями и большими гидростанциям увеличивается примерно на 50% с 20.8 ЭДж в 2012 году до 32.4 ЭДж, что приводит к снижению доли этих источников энергии с 27% до 21%. Генерирование электроэнергии с помощью наименее углеродоемкого ископаемого вида топлива — природного газа, остается примерно на том же уровне к 2050 году, с увеличением генерации электроэнергии 2020—2030 годах.

На рисунке 8 структура генерации электроэнергии по сценариям в 2050 году. Для всех сценариев генерирование электроэнергии при помощи возобновляемых источников энергии, атомных станций и гидростанции остается примерно постоянным. Генерирование электроэнергии при помощи природного газа зависит от сценария. Наибольший объем генерирование электрической энергии с помощью природного газа наблюдается в наименее ограничительном сценарии «1250 по CCS» и сценарии без ограничения на использование технологии захоронения и улавливания углерода «550». В этих сценариях генерирование электроэнергии увеличивается в 2—3 раза по сравнению с другими сценариями и базовым 2012 годом. Ни в одном из рассматриваемых сценариев в 2050 году не происходит генерирование электроэнергии при помощи угля и нефти, что связано как со

значительно стоимостью нефти, так и большой эмиссии при генерации электроэнергии углем и нефтью.

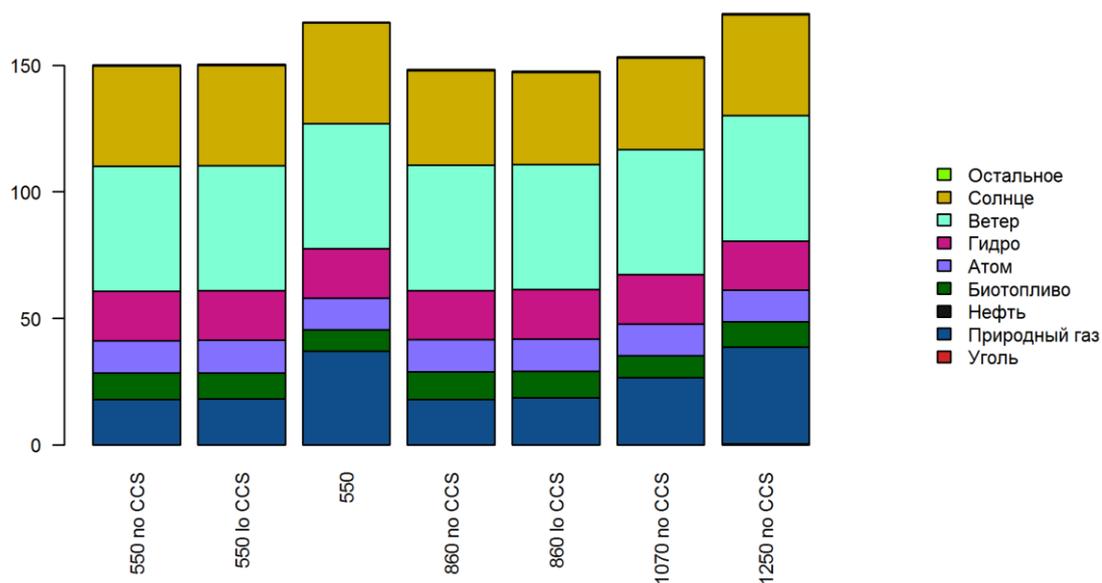


Рисунок 8 — Структура генерации электроэнергии по сценариям в 2050 году, ЭДж

ПРОГНОЗ ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕМОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ В ДОЛГОСРОЧНОМ ПЕРИОДЕ

Мировая энергетическая система переживает серьезные изменения под влиянием ряда факторов. С одной стороны, экономический рост развивающихся стран сдвигает спрос на энергоносители в сторону все более высоких уровней, повышая цены, и стимулируя инвестиции как в геологоразведку, развитие технологий добычи, так и в развитие возобновляемых источников энергии по всему миру. С другой стороны, технологический прогресс, нереализованный потенциал энергоэффективности спроса на энергию, растущая экологическая нагрузка от использования ископаемых видов топлив, глобальные климатические изменения, приводят к снижению конечного спроса на энергию и изменению его структуры в пользу более «чистых» источников. Для России, крупнейшего производителя и экспортера энергоресурсов, понимание и прогнозирование данных изменений является важной задачей в формировании долгосрочной стратегии роста.

Основной экспорт ископаемых видов топлива России состоит из нефти и нефтепродуктов, как в денежном, так и натуральном выражении. В 2012 году чистый экспорт России составил 14.3 ЭДж. На втором месте по важности идет природный газ, чистый экспорт которого составляет 6.47 ЭДж. Чистый экспорт угля и кокса составляет 2.8 ЭДж, и является значительно меньшим в денежном выражении по сравнению с нефтью и природным газом. Из анализа проведенного выше, авторы считают наиболее вероятным сокращение экспорта угля практически до нулевых значений, как из-за высокой углеродоёмкости угля, так из-за экологических и технологических проблем, возникающих при использовании угля.

На рисунке 9 показано первичное потребление нефти в наиболее ограничительном сценарии «550 по CCS». Отдельно выделено первичное потребление нефти Евросоюзом, который является наиболее важным экспортным рынком России, и первичное потребление нефти Китаем — потенциальным рынком экспорта углеводородов из России.

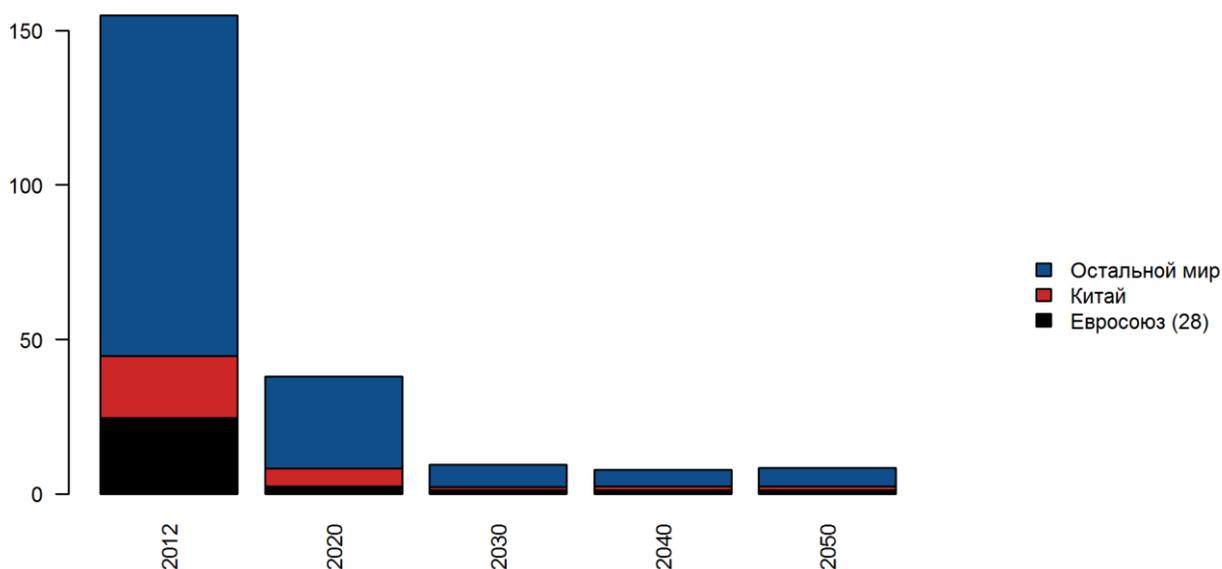


Рисунок 9 — Первичное потребление нефти «550 по CCS», ЭДж

Согласно результатам анализа в наиболее ограничительном сценарии «550 по CCS» первичное потребление нефти и нефтепродуктов значительно снижается, включая Китай и Евросоюз, со 155 ЭДж в 2012 году, до 8.5 ЭДж в 2050 году, что, как отмечалось ранее, вызвано переходом транспорта, в первую очередь дорожного, на другие, менее углеродоемкие, источники энергии, а именно природный газ, биотопливо и электроэнергию для автомобилей.

На рисунке Рисунок 10 показано первичное потребление нефти для различных сценариев. В наименее ограничительном сценарии «1250 по CCS», который по своей сути ближе к сценарию 4 градуса Цельсия, и для достижения цели 2 градуса Цельсия требуется достижения негативного уровня эмиссии в период с 2050 по 2100 год, первичное потребление нефти и нефтепродуктов снижается в два раза по сравнению с текущим до 73 ЭДж, а в сценарии «1070 по CCS» в 5 раз, до 30.3 ЭДж. Во всех остальных сценариях привычное потребление нефти и нефтепродуктов снижается до примерно 8 ЭДж. В Евросоюзе во всех сценария, за исключением сценария «1250 по CCS», первичное потребление нефти и нефтепродуктов снижается ниже уровня текущей добычи нефти. В сценарии «1250 по CCS» первичное потребление нефти и нефтепродуктов снижается до 11.2

ЭДж, что при поддержании текущего уровня добычи нефти Евросоюзе означает снижение объема потенциального рынка до 8ЭДж с текущих 21.9 ЭДж. Потребление Китаем нефти и нефтепродуктов имеет динамику схожую с Евросоюзом, при большем текущем уровне добычи нефти. По результатам анализа авторы делают вывод, что при выполнении Парижских соглашений, потенциальный объем рынка нефти и нефтепродуктов Китая и Евросоюза сократится в 2 — 10 раз, что на фоне общего сокращения потребления нефти и нефтепродуктов, и как следствие повышения конкуренции на рынке, приведет к значительно большему снижению экспорта нефти из России в денежном выражении, вследствие дополнительного снижения цены на нефть и нефтепродукты.

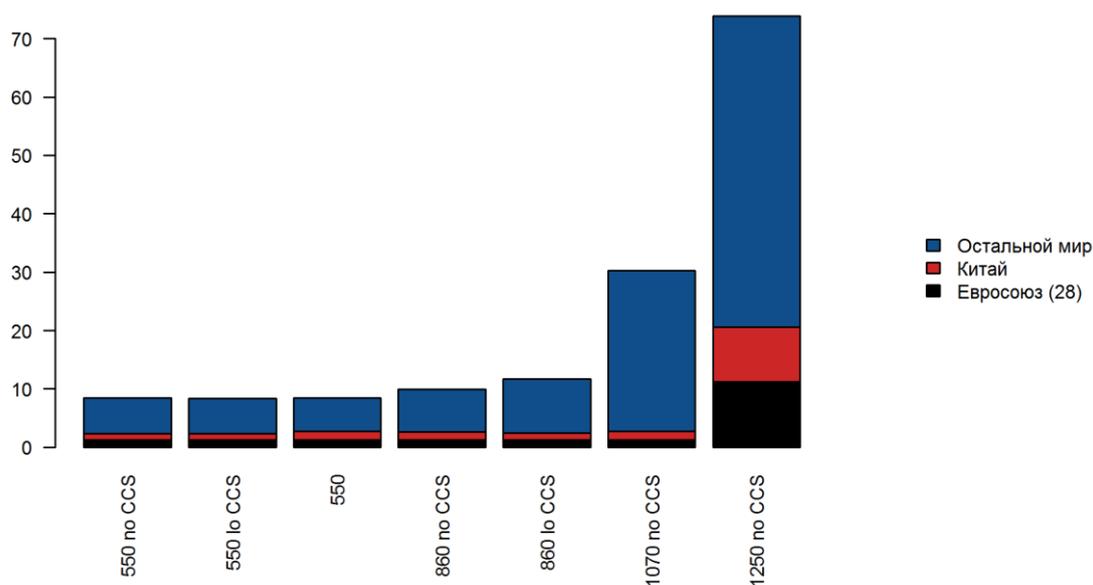


Рисунок 10 — Первичное потребление нефти «550 по CCS», ЭДж

На рисунке Рисунок 11 показана структура первичного потребления природного газа в сценарии «550 по CCS». Природный газ является вторым по значимости статьей экспорта ископаемых видов топлива Российской Федерации после экспорта нефти и нефтепродуктов. Первичное потребление природного газа

сокращается не столь значительно, как потребление нефти и нефтепродуктов, что связано с меньшей углеродоемкостью, ценой и технологической применимостью природного газа.

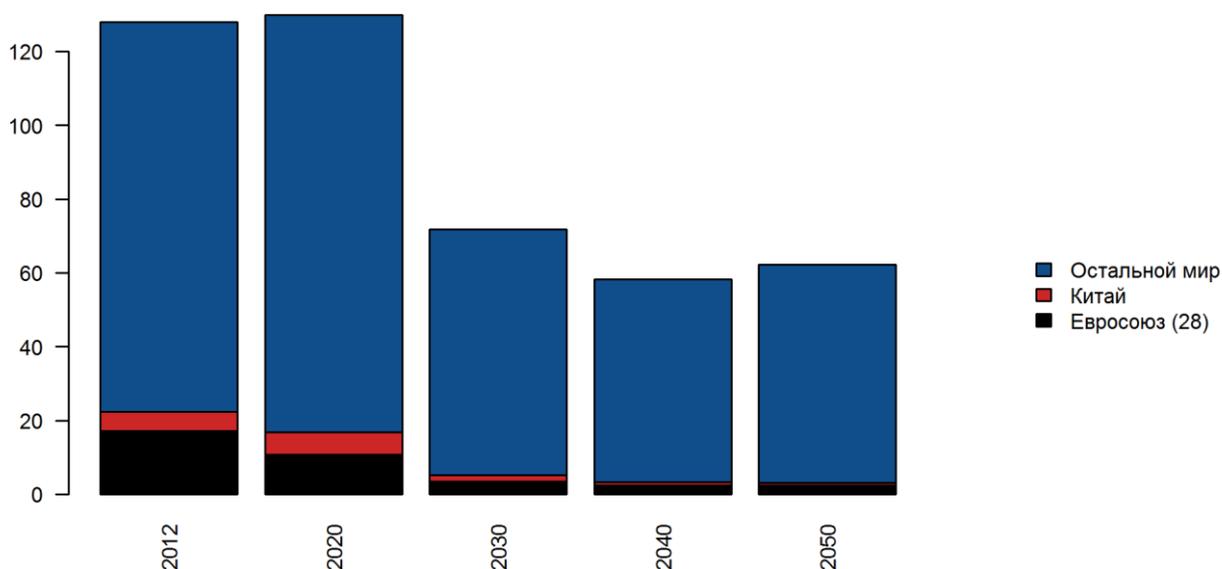


Рисунок 11 — Первичное потребление природного газа «550 по CCS», ЭДж

Согласно результатам анализа объем привычного потребления природного газа в сценарии «550 по CCS» снижается до 62 ЭДж в 2050 году, 128 ЭДж в 2012 году. Первичное потребление природного газа Евросоюзом снижается с 17 ЭДж в 2012 году, до 2.4 ЭДж в 2050 года, а Китая с 5.25 ЭДж до 0.7 ЭДж. Таким образом, в самом ограничительном сценарии «550 по CCS» первичное потребление природного газа в Евросоюзе и Китае снижается ниже текущего уровня добычи природного газа. На рисунке 12 показано первичное потребление природного газа по сценариям.

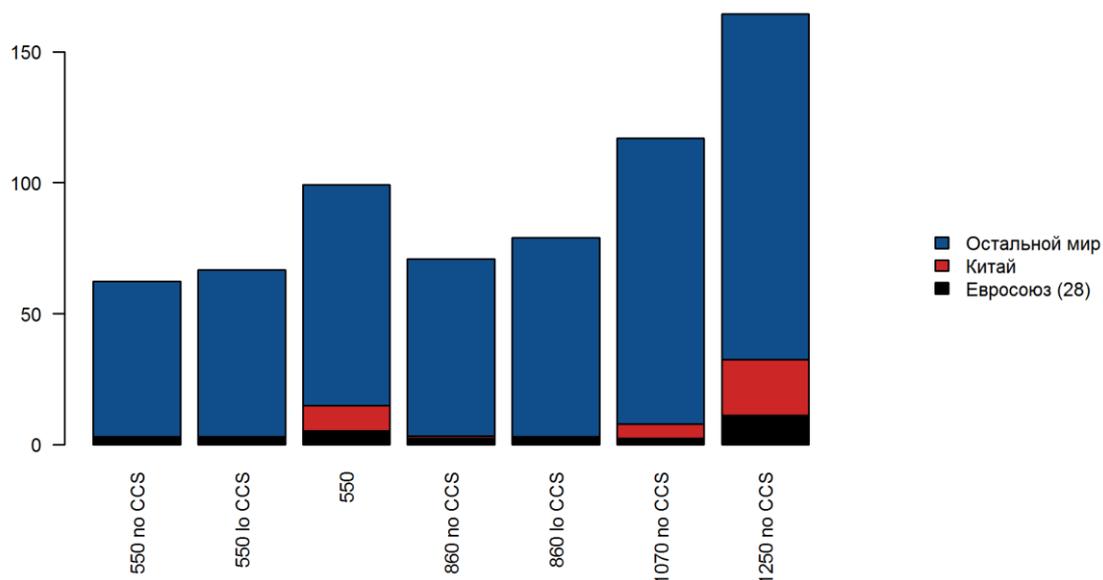


Рисунок 12 — Первичное потребление природного газа по сценариям, ЭДж

В зависимости от сценария первичное потребление природного газа снижается не столь значительно, как потребление угля и нефти. Потребления природного газа растут на 30 ЭДж в сценарии «немного растёт сценарий «1250 no CCS». В сценарии «550 no CCS» без ограничения на использование технологии улавливания и захоронения углерода первичное потребление природного газа остаётся прежним. По результатам анализа в целом можно заключить, что первичное потребление природного газа может упасть не более чем 2 раза или даже немного вырасти в зависимости от сценария. Потребление природного газа Евросоюзом снижается в любом из сценариев. Потребления природного газа в Китае напротив может как сократиться так и увеличиться, в зависимости от того чем будут замещаться угольные котельные и электростанции в Китае: возобновляемой энергетикой или электростанциями работающими на природном газе. В сценарии «1250 no CCS» первичное потребление природного газа в Китае может достичь 21 ЭДж, по сравнению с текущими 5.15 ЭДж.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа посвящена разработке глобальной энергетической модели для оценки долгосрочного спроса на российские энергоресурсы. Работа основывается на результатах исследования консорциума глубокой деуглеродизации (DDPP), и ставит целью создание инструментария для изучения изменений потенциального спроса на энергоносители в мировой торговле в результате появления новых технологий, а также энергетической и климатической политики на национальном и международном уровне. Особый интерес представляют страны – торговые партнеры России, а также производители энергетических товаров.

Одним из результатов данного исследования является разработанная глобальная модель репрезентативной энергетической системы, включающая страны БРИКС, ОПЕК, Евросоюз (в составе 28 стран), США, Канада, и остальные. Теоретическая концепция модели аналогична ее предшественнице «РУТАЙМС» и основана на минимизации издержек различных технологических опций, задаваемых набором альтернативных технологий производства наиболее энергоемких и однородных конечных продуктов, включая электроэнергию, чугун и сталь, услуги транспорта, здания, и др. Глобальный и более детальный охват энергетической системы мира с учетом торговли энергоресурсами и странового потенциала возобновляемых источников энергии позволяет анализировать спрос на традиционные в зависимости от реализуемых сценариев энергетический и климатической политики.

С помощью разработанной модели глобальной репрезентативной энергетической системы («Глобальная энергомодель») анализировались сценарии Пятого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата, с учетом принятых странами обязательств на Конференция по климату в Париже в конце 2015. Ввиду неопределенности, охарактеризованной в докладе МГЭИК, рассматривались различные сценарии сокращения эмиссии. Целевой диапазон снижения эмиссии в зависимости от сценария довольно широкий: от 8.6% до 2.4%, что соответствует поставленной цели удержания

концентрации парниковых газов в диапазоне эмиссии 430-480 частиц на миллион (ppm) в 2100 году, и роста глобальной температуры не выше 2 градусов Цельсия.

С технической точки зрения стратегия глубокого сокращения эмиссии парниковых газов может быть охарактеризована тремя основными направлениями: энергоэффективность, деуглеродизация электроэнергетики, электрификация. Решающую роль в каждом из направлений играют технологии, выбор которых осуществляется моделью на основе минимальных издержек и в условиях поставленных ограничений на выбросы.

Потенциал и стратегия деуглеродизации российских отраслей промышленности и экономики изучалась на предыдущих этапах работы. Экономически целесообразное сокращение различается по странам в зависимости от ряда факторов, включая структуру экономики, наличие потенциала возобновляемой энергетики и его видов,

В данной работе не ставится целью определение оптимальной стратегии снижения выбросов для какой-то конкретной страны или региона. Основная задача является в оценке потенциального изменения спроса на традиционные энергоресурсы в мире и изменения в мировой торговле.

Поскольку основным потребителем нефти является транспорт, наибольшее внимание уделено автомобильному транспорту. Основные стратегии деуглеродизации дорожных перевозок, это повышение эффективности, переход на другое топливо (природных газ, биотопливо), электрификация. Газификация автотранспорта в странах импортера газа не является экономически целесообразной. Исключение может составлять грузовой транспорт. Условно CO₂-нейтральное биотопливо требует освоения или высвобождения больших площадей сельскохозяйственных земель, конкурирует с производством продуктов питания. Наиболее реалистичной и экономически целесообразной стратегией в дорожном транспорте является его электрификация, которая также не требует больших затрат на развитие инфраструктуры.

В соответствии с полученными результатами, транспортный сектор обладает высоким потенциалом, как повышения эффективности, так и переключения на другие виды топлива, электрификацию. Транспорт может стать одним из главных

драйверов сокращения эмиссии, который также может быть эффективным по издержкам. Относительно невысокая стоимость и возможность быстрого развития инфраструктуры зарядных станций для электромобилей, высокая оборачиваемость основных фондов (срок службы автомобиля 10-15 лет) ставят под вопрос дальнейший рост спроса на нефтепродукты, создают риски для производителей нефти. Причем сокращение потенциального спроса на нефть характерно для всех рассматриваемых сценариев вне зависимости от жесткости климатической политики.

Как показывает ряд исследований, электрификация транспорта хорошо согласуется со стратегией деуглеродизации энергетики через расширение доли возобновляемой энергетики. Солнечная и ветровая энергетика и ветряки имеют наибольший потенциал среди различных видов возобновляемой электроэнергетики в большинстве из рассматриваемых в исследовании стран и регионов. Ветровые и солнечные электростанции уже достигли эффективности по издержкам, дают наиболее дешевое электроэлектричество. Однако наибольшим препятствием для их использования в больших объемах (в исследованиях для Европы называется цифра более 20% в общем производстве электроэнергии) является прерывистость генерации, которая зависит от погодных условий и не всегда хорошо прогнозируется. Это требует методов балансировки, хранения электроэнергии, развития электросетей. Аккумуляторные батареи большой емкости электромобилей могут быть тем самым необходимым хранилищем электроэнергии, и могут использоваться для балансировки спроса и предложения.

В зависимости от сценария доля производства электроэнергии с использованием ископаемого топлива падает от 67 до 29.5% к 2030 и до 29.5% к 2050 году. Наихудшими перспективами в электроэнергетике обладает уголь. Даже для наименее ограничительного сценария тепловая генерация на угле должна сильно снижаться. В предложенных сценариях угольная генерация падает вдвое уже к 2020 году. Отметим, что это не прогноз, а требование для достижения целевого уровня концентрации парниковых газов в атмосфере. Более реалистичными видятся сценарии и с более медленным выбытием угольной генерации из производства в первые один-два десятилетия. Однако тогда

потребуется более радикальное выбытие в последующие годы, чтобы сценарий соответствовал целевой концентрации.

Значительную роль в электро-энергетике играет природный газ. Этот вид топлива обладает примерно вдвое меньшей углеродоемкостью, если не учитывать утечки при добыче, транспортировке, использовании. Однако его доступность, и достаточность предложения для удовлетворения спроса, оставляют значительную неопределенность. В зависимости от выбранных странами целевых значений, спрос на природный газ может вырасти в первые 10 лет и снизиться впоследствии, либо останется примерно неизменным на протяжении всего рассматриваемого периода (до 2050 года). Примечательно, что сценарий более радикального сокращения выбросов (550) требует переключения угольных тепловых электростанций на газ в первое десятилетие, и последующее выбытие тепловой генерации. Альтернативой может быть более агрессивное проникновение возобновляемой энергетики с первых лет.

Резюмируя, можно выделить несколько основных эффектов воздействия энергетических инноваций и климатической политики на перспективы мировой торговли энергоресурсами:

Инновации в транспорте и электро-энергетике, по-видимому, приведут к значительному сокращению спроса на уголь и нефть уже в ближайшее десятилетие; эти изменения видятся эффективными по издержкам, а значит будут происходить и без существенной климатической политики.

Провозглашенные странами цели снижения эмиссии ПГ будут служить стимулом для инвестиций в инновации, сворачивании производства энерго-неэффективных фондов, деинвестиций в традиционную энергетику, ускоренному расширению доли возобновляемой энергетики и технологий, позволяющих снизить энерго- и углеродоемкость. Как уже отмечалось, наибольшим потенциалом относительно быстрого снижения выбросов обладают энергетика и транспорт.

Наибольшее изменение в спросе будет претерпевать уголь и нефть. Причем, в связи с резким удешевлением технологий возобновляемой энергетики и электромобилей, наблюдаемого в последние годы, вытеснение данных видов энергоносителей может происходить очень быстрыми темпами, и может

сократиться до двух раз уже за 10 лет. Это создает значительные риски для инвестиций в нефтяную и угольную добычу и переработку. В случае реализации сценариев, согласующихся провозглашенными в Париже 2015 целями, спрос на уголь и нефть может снизиться в 10 раз к 2050 году.

Природный газ имеет относительно более устойчивые позиции по сравнению с углем и нефтью. Спрос на газ со стороны отопления жилой и коммерческой площади будет постепенно снижаться ввиду повышения энергоэффективности зданий и распространения геотермальных и воздушных тепловых насосов. Однако, с другой стороны, следует ожидать рост спроса на газ со стороны электро-энергетики, грузового транспорта, промышленности, вследствие вытеснения угля. С точки зрения конечного спроса, большей возможностью снижения спроса на газ обладает сельские районы вследствие доступности различных видов биотоплива, возможности использования тепловых насосов для отопления отдельно стоящих зданий, биореакторов. Основной же источник снижения спроса на газ в городах и промышленных районах – энергоэффективность и электрификация.

Регионально изменение спроса на энергетические товары будет сильно различаться. Если в Европе спрос на нефть и уголь, газ будет в перспективе снижаться, то в Китае, странах Азиатско-Тихоокеанского региона будет расти. Однако если на газ следует ожидать роста спроса в перспективе 10 или более лет, то спрос на уголь, по всей видимости, будет снижаться, спрос на нефть может вырасти в краткосрочной перспективе, но при реализации стратегии «двух градусов» нефть будет вытесняться электрификацией транспорта при опережающем росте использования возобновляемой энергетики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 MARKAL: a multiperiod, linear-programming model for energy systems analysis (BNL version) Conference Paper · December 1978
- 2 <http://www.iea-etsap.org/>
- 3 Per-Anders Bergendahl and Clas Bergström: «Long-Term Oil Substitution: The Iea-Markal Model and Some Simulation Results for Sweden», the Scandinavian Journal of Economics , Vol. 83, No. 2, The Impact of Rising Oil
- 4 <http://www.osemosys.org/>
- 5 M. Howells, H. Rogner, N. Strachan, C. Heaps, H. Huntington, S. Kypreos, A. Hughes, S. Silveira, J. DeCarolis, and M. Bazillian, “OSeMOSYS: the open source energy modeling system: an introduction to its ethos, structure and development,” Energy Policy, vol. 39, no. 10, pp. 5850–5870, 2011.
- 6 NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS, European Commission Joule-III Programme: «The PRIMES Energy System Model. Summary Description»
- 7 Energy Modeling Framework: Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact (MESSAGE), International Institute for Applied Systems Analysis 26th April 2009, <http://www.iiasa.ac.at/Research/ENE/model/message.html>
- 8 Messner, S. & Strubegger, M. User’s Guide for MESSAGE III. International Institute for Applied Systems Analysis, 1995, <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/WP-95-069.pdf>.
- 9 E Van der Voort, « The EFOM 12C energy supply model within the EC modelling system», Omega Volume 10, Issue 5, 1982, Pages 507-523
- 10 <http://www.enerdata.net/enerdatauk/solutions/energy-models/poles-model.php>
- 11 Steve Pyea, Christophe McGlade, Chris Bataille, Gabriel Anandarajah, Amandine Denis-Ryan & Vladimir Potashnikov: «Exploring national decarbonization pathways and global energy trade flows: a multi-scale analysis», Climate Policy <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14693062.2016.1179619>
- 12 Gabriel Anandarajah, Will McDowall, Paul Ekins: « Decarbonising road transport with hydrogen and electricity: Long term global technology learning scenarios», International Journal of Hydrogen Energy, Volume 38, Issue 8, 19 March 2013, Pages 3419–3432

- 13 World Population Prospects: The 2015 Revision
- 14 Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата: «Изменение климата, 2014 г. Смягчение воздействий на изменение климата»
- 15 United Nations FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1 Conference of the Parties Twenty-first session Paris, 30 November to 11 December 2015 ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT
- 16 http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php
- 17 Sustainable Energy Authority Of Ireland “DWELLING ENERGY ASSESSMENT PROCEDURE (DEAP)”
http://www.seai.ie/Your_Building/BER/BER_Assessors/Technical/DEAP/Introduction_to_DEAP_for_Professionals.pdf
- 18 IRENA: “RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2016”, 2016
- 19 <http://www.rusenres.ru/news/5478/>
- 20 <http://minenergo.gov.ru/node/532>
- 21 IRENA: “RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2014”, 2015