

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

Поташников В.Ю.

**Сокращения эмиссии CO₂ от сжигания ископаемых
видов топлива на 50% по сравнению с 1990 годом в
региональном разрезе**

Москва 2018

Аннотация. Модели репрезентативной энергетической системы (РЭС), которые детально описывают энергетическую систему страны или региона на уровне технологий производства, трансформации, распределения и потребления различных видов энергии, широко применяются для долгосрочных прогнозов предложения и спроса на энергоресурсы и сценариев сокращения эмиссии.

В работе приведены сценарии сокращения эмиссии CO₂ от сжигания ископаемых видов топлива

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 2017 год

ВВЕДЕНИЕ

С подписанием Парижских климатических соглашений, изучение возможностей сокращения эмиссии CO₂ от сжигания ископаемых видов топлива с учетом региональной структуры добычи и потребления энергоресурсов, возможностей использования возобновляемых источников энергии в российских регионах, является первостепенной задачей в формировании энергетической, климатической политик как на федеральном уровне, так и на уровне регионов.

Модели репрезентативной энергетической системы (РЭС), которые детально описывают энергетическую систему страны или региона на уровне технологий производства, трансформации, распределения и потребления различных видов энергии, широко применяются для долгосрочных прогнозов предложения и спроса на энергоресурсы и сценариев сокращения эмиссии.

Для России аналогичная модель энергетического сектора (РУ-ТАЙМС) была разработана авторским коллективом РАНХиГС. Модель успешно применялась для изучения потенциала снижения выбросов парниковых газов в России до 2050 года, разработки сценариев спроса на энергию в зависимости от сценариев энергетической и климатической политики. РУ-ТАЙМС построена на основе методологического аппарата, разработанного в рамках прикладного соглашения Международного Энергетического Агентства ETSAP (Energy Technology System Analysis Program — Программа анализа энергетических технологий). Методология представляет собой оптимизационное моделирование с использованием линейного программирования, которая может быть расширена и использована для построения мульти-региональных моделей. Достоинством региональной модели, в отличие от РУ-ТАЙМС, является возможность детализации прогнозов выбросов, потенциала сокращения выбросов, эффектов воздействия климатической политики на уровне регионов. Модель реализована в программном пакете “energyRt”.

В работе приведены с сценарии сокращения эмиссии CO₂ от сжигания ископаемых видов топлива на 50% по сравнению с 1990 годом. Данные сценарии являются относительно мягкими, с учетом значительного сокращения эмиссии в

результате трансформационного кризиса энергетической системы в 90х годах, роста энергоэффективности и примерно постоянным уровнем населения.

Описание модели и предпосылок, используемых при построении сценария

Уголь, нефть и природный газ является основными видами ископаемых топлив в России. Каждый из этих видов топлива имеет свою специфику добычи, транспортировки и применения, и поэтому должны моделируются отдельно.

География добыча нефти довольно разнообразна. Однако значительная часть добываемой в России нефти производится в нескольких регионах: в Тюменской области (включая Ханты-Мансийский автономный округ и Ямало-Ненецком автономном округе), Республике Татарстан, Красноярском край, Оренбургской области и Республике Башкортостан. Основным способом транспортировки нефти являются нефтепроводы, а нефтепродуктов нефтепродуктоводы, железнодорожный и автомобильный транспорт. Значительную часть нефти экспортируют за рубеж, по данным МЭА из 21 ЭДж добытой нефти, 14 ЭДж было экспортировано в виде нефти и нефтепродуктов [1]. По данным Минприроды на 43 крупнейших месторождений России, приходится 7.5 млрд. т. категории А+В+С1 из 18.3 млрд. т., при ежегодном уровне добычи примерно в 0.5—0.6 млрд. т [2].

Основным потребителем нефтепродуктов в Россия является транспорт, в первую очередь автомобильный, химическая промышленность и электроэнергетика, где мазут и дизель используется как резервное топливо или как источник энергии для генерации электроэнергии в удаленном районе.

Природный газ является важным источником ископаемого вида топлива. Считается что природный газ наиболее экологически чистый по сравнению с нефтью и углем. Однако при добыче и транспортировке природного газа происходит утечка метана, который с точки зрения глобального потепления наносит урон в 20—25 раз больше чем эмиссия CO₂. Природный газ технические удобней в применении по сравнению с углем, и стоит значительно меньше по сравнению с нефтью и нефтепродуктами. Электростанции, работающие на природном газе, имеют более

гибкий режим работы. Например, газовые турбины используются для удовлетворения, неожиданно возникающего пикового спроса на электричество.

Природный газ в основном используется для нужд генерации тепла электроэнергии. Основным способом транспортировки природного газа в России является газопроводы, которые принадлежат ПАО «Газпром». Природный газ возможно транспортировать сжиженным виде (СПГ — сжиженный природный газ). Однако для такой транспортировки необходимо сжижать и разжижать природный газ до и после транспортировки соответственно с помощью дорогостоящего оборудования. В России построено или строится несколько заводов производства СПГ, для последующей транспортировки морским транспортом.

Уголь используется для нужд тепло и электрогенерации, а также черной металлургии, в первую очередь для производства чугуна. Для производства чугуна используется кокс, получаемые из угля с помощью бескислородного горения. Основным способом транспортировки угля является железнодорожный транспорт. Низкая энергетическая эффективность и ограничение по железнодорожной инфраструктуре делает транспортировку угля для нужд электро и теплоэнергетики экономически невыгодным на значительные расстояния от угольных шахт.

Для генерации электроэнергии в России используются электростанции, работающие на ископаемом топливе, в основном на природном газе и угле, атомные и гидроэлектростанции. В небольшом объеме производится электроэнергия с помощью солнечных и ветровых электростанций. Авторский коллектив собрал данные о более чем 500 электростанций, включая ТЭЦ, для построения модели.

В 2015 году в России было установлено 257.1 ГВт электростанций, которые произвели 1068 ТВтЧ (3.9 Эдж) электроэнергии. Из них мощность тепловых, гидро и атомных электростанций составила 179 ГВт, 51 ГВт и 26.3 ГВт соответственно [3].

Из 51 ГВт установленной мощности ГЭС, на 16 наиболее крупных ГЭС приходится 40 ГВт. Семь ГЭС: Саяно-Шушенская, Красноярская, Братская, Усть-Илимская, Богучанская, Волжская и Жигулевская ГЭС имеют мощность более 2.5 ГВт установленной мощности. На данный момент группой «РУСГИДРО» строится 4 ГЭС: Зарамагская ГЭС 342 МВт, 8 Загорская ГАЭС-2 840 МВт, Нижне-Бурейская ГЭС 320 МВт и Усть-Среднеканская ГЭС мощностью 570 МВт[4].

Доля атомной электроэнергии в общем производстве электроэнергии в России составляет 14%. На АЭС (атомных электростанциях) энергия производится с помощью урана. Моделирование производства затруднено из-за закрытости отрасли. С другой стороны, детальное моделирование добычи урана не требуется по ряду причин: объем используемого топлива небольшой и не требует региональной специфики для корректного моделирования; список построенных или планируемых атомных электростанций известен из официальных источников; постройка новых АЭС требует значительных капитальных вложений и связано с рядом значительных трудностей, что делает маловероятным постройку дополнительных АЭС.

Основная часть АЭС располагается в западной части России. На 9 АЭС с мощностью 1.2 ГВт до 4 ГВт, приходится 25.8 ГВт установленной мощности и 26.3 ГВт АЭС. В России действуют 12 реакторов ВВЭР-1000, 11 реакторов РБМК-1000, 5 реакторов ВВЭР-440, 4 реактора ЭГП-6, 2 реактора БН-800 и реактор ВВЭР-1200. На данный момент в России строится и проектируется 6 реакторов ВВЭР-1200 на Ленинградской АЭС-2, Нововоронежской АЭС-2 и Курской-АЭС2[5].

На рисунке 1 показано расположение основных электростанций России. Газовые электростанции расположены вдоль основных газопроводов. 27 станций имеют установленную мощность более 1 ГВт. Из них 9 станций имеет мощность от 1 до 5.6 ГВт. Угольные электростанции располагаются недалеко от мест добычи или в месте где есть возможность угля железной дорогой. 16 угольных электростанций имеют мощность от 1 до 3.8 ГВт.

Потенциал солнечной и ветрой электроэнергетики, получен на основе расчетов авторов, по данным NASA. Валовый потенциал только в Красноярском крае превышает годовую выработку электроэнергии в несколько раз России.

В модели можно выделить три основных конечных сектора потребления энергии: Здания, транспорт и остальное (промышленность). В модели детально описаны сектора здания, транспорт, технологии производства цемента, черной металлургии и НПЗ. Для оставшихся секторов экономики использовалась предпосылка небольшого роста энергоэффективности, и возможности частичного перехода на природный газ, электричество и тепло, вместо нефтепродуктов и угля.

Спрос домохозяйств на энергию в первую очередь складывается из проса на отопление и электроэнергия для бытовых нужд, и спроса на транспортные услуги. Спрос в сельской местности и крупных городах различается. Так во многих городах используются центральное отопление, что для большинства стран означало бы высокая энергоэффективность отопления. Однако в России изношенная инфраструктура котельных и теплотрасс снижает энергоэффективность. В крупных городах существует повышенный спрос на транспортные услуги включай, как общественный, так и личный. Например, согласно опросам российской газеты, среднее время до работы в Москве занимает 48 минут на личном транспорте, и 62 минуты на общественном. Время до работы меньше в других городах-миллионниках на 10-20 минут меньше[5].

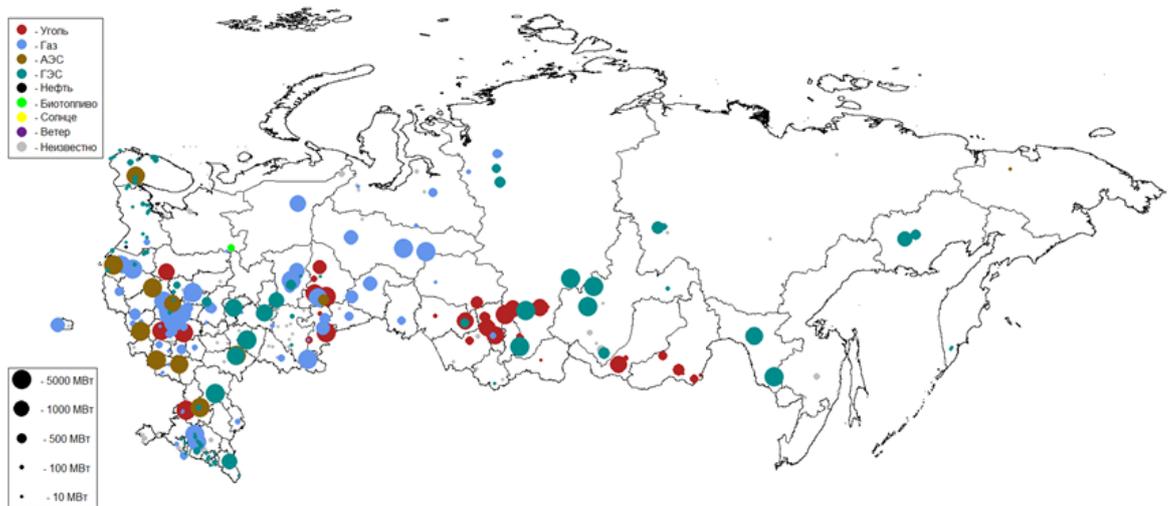


Рисунок 1 – Расположение электростанций России

На рисунке 2 показано расположение городов России. Распределение городов крайне неравномерно. Большая часть городов находится в европейской части России и на юге азиатской части России. На данный момент в России около 1110 городов причём 15 из них с населением более миллиона человек (33 млн. жителей или 22% населения). В городах с населением от полмиллиона до миллиона проживает 13 млн человек (21 город), в крупных городах от 100 до 500 тысяч человек проживает 28

млн. человек. И того на крупные и средние города приходится более половины населения Российской Федерации, без учета агломераций крупных городов.

На 2015 год в России была 3.6 млрд. кв. м. жилья из них 27% находилась в сельской местности. Удельный вес ветхого жилья в среднем по России относительно низкий (1.9%). Однако в некоторых субъектах Российской Федерации доля ветхого жилья значительно выше, например, в 4 субъектах доля ветхого жилья превышает 10%.

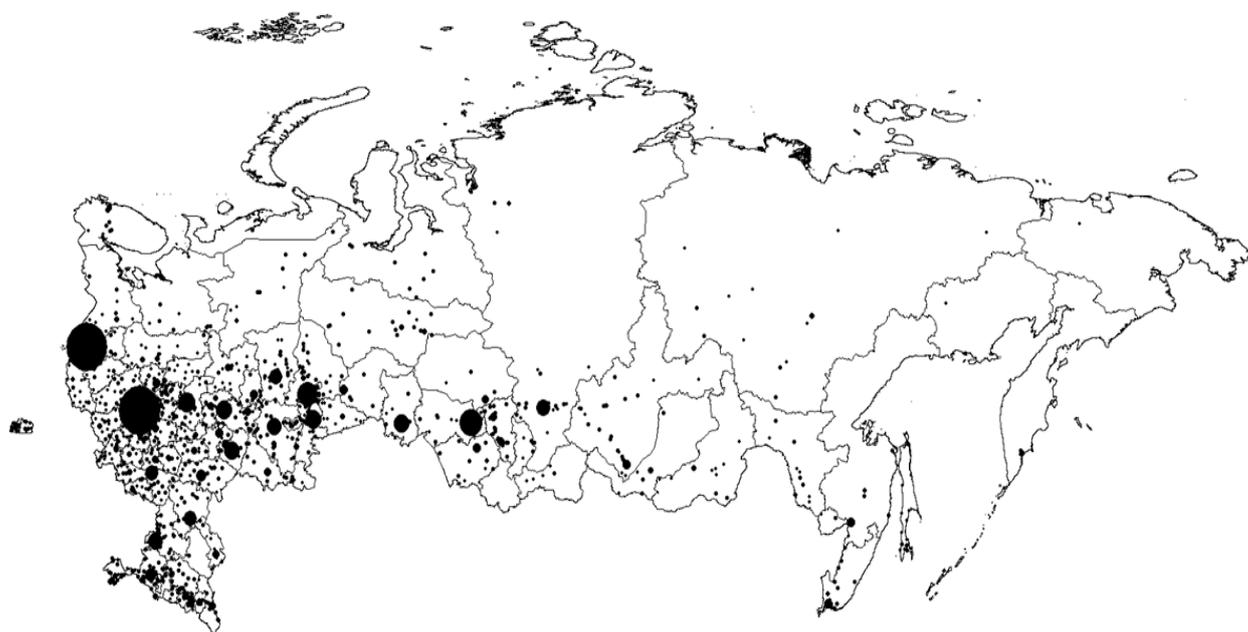


Рисунок 2 – Города России

В целом более старое жилье имеет меньшую энергоэффективность, плохо продуманную систему вентиляции, плохую проводку и планировку, которая считается некомфортной по современным стандартам. Очевидно, что возрастом здания нельзя точно определить состояния здания. Например, некоторые более старые, но качественные дома, с проведенным капитальным ремонтом, могут иметь лучшие характеристики по сравнению с некачественно построенными панельными домами. Однако в среднем более старые дома имеют более плохое качество. На рисунке 3 показано доля жилых домов, построенных до семидесятых годов прошлого века.

Долю домов более 40% которых построено до семидесятых годов прошлого века имеет 15 регионов Российской Федерации, включая Санкт-Петербург, который обладает самой большой долей домов, построенных до 1920 года в 12%. В остальных регионах Российской Федерации доля таких домов не превышает 6%.

Россия прошла стадию индустриализацию. Однако 24% населения проживает в сельской местности. Помимо этого, в России развита внутренняя миграция от малых городов и сельских поселений к крупным городам. Поэтому можно предположить более быстрое строительство городского жилого фонда и относительно низкий уровень строительства в сельской местности. Кроме того, существуют важные различия для моделирования энергетики России в городском и сельском жилом фонде, часть из которых перечисленного выше.

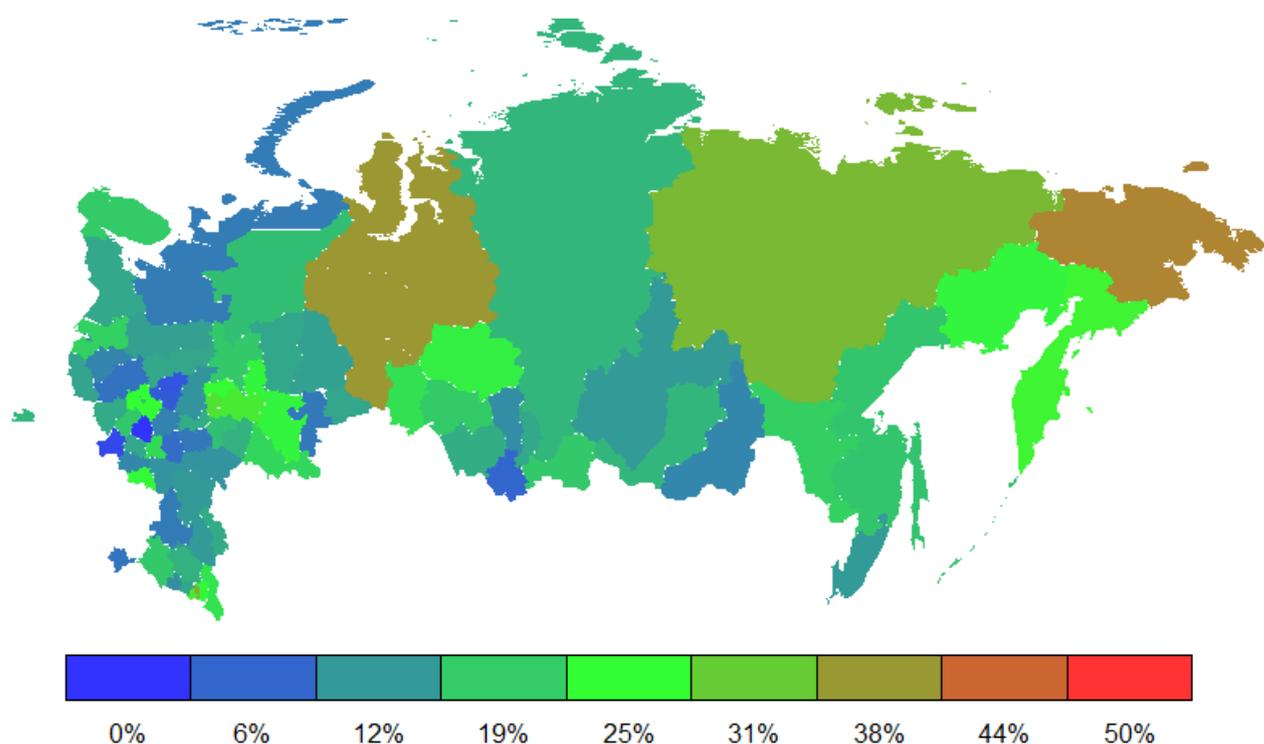


Рисунок 3 – Доля жилой площади построенной до 1970 года[6]

В качестве драйверов внутреннего спроса на энергию использовались: ВВП по ППС на душу населения, в постоянных ценах, общее количество жителей и жилая площадь на человека. ВВП используется скорее, как ориентир для будущего уровня выпуска конечных товаров и услуг, таких как производство черных металлов или

спрос на перевозку косвенно зависит от уровня ВВП. Например, если в результате проведения НИОКР, параметры автомобилей, производимых АвтоВАЗ, будут схожи с параметрами БМВ, объем добавленной стоимости вырастет несколько раз, а объем используемого черного металла на 50-75%. Поэтому, результаты выполнения модели относительно слабо чувствительны к уровню в ВВП, и как результат довольно условные прогнозы ВВП России до 2050 года является задается по данным Всемирного Банка до уровня 4.9 трлн. Долларов США. 28

В качестве прогнозов численности населения России использовался «Средний вариант прогноза» Росстат до 2050 года, в котором численность населения остается примерно постоянной на всем периоде [7]. Жилая площадь на человека является важным драйвером спроса на энергию, так как жилые здания являются существенными потребителями тепловой энергии для отопления и электроэнергии для бытовых устройств и освещения. При построении сценариев предполагалось что к 2050 году уровень жилой площади достигнет уровня 40 квадратных метров на человек, что соответствует нижней границе средней жилой площади на человека в странах ЕС.

Экспорт углеводородов является важной составляющей энергетики и экономики России. При этом уровень экспорта определяется не только производственными возможностями России, но и спросом со стороны потребителей и предложением конкурентов России на углеводородном рынке. На экспорт России действует две разнонаправленные тенденции. С одной стороны, рост развивающихся экономик, прогнозируемое увеличение населения планеты на 1.5 млрд. человек к 2050 году, вместе с возможной индустриализации аграрных экономик мира увеличивает спрос на углеводородное топливо на международном рынке.

С другой стороны, наблюдаются эффекты снижение спроса на углеводородное топливо на международном рынке в целом, и на продукцию России, в частности. К эффектам, снижающим общий спрос на углеводородное топливо следует отнести технический прогресс, рост энергоэффективности технологий спроса и предложения, активная климатическая политика, проводимая странами для предотвращения изменения климата, и развитие технологий возобновляемой

энергетики. В качестве драйверов спроса на экспорт использовались результаты сценария умеренной климатической политики построенного на глобальной региональной модели репрезентативной энергетической системы, построенной коллективом авторов РАНХиГС. При этом предполагалось, что экспорт на Российские углеводороды будет меняться пропорционально изменению первичного мирового спроса на углеводороды. На рисунке 4 показан первичный спрос на ископаемые виды топлива в сценарии умеренной климатической политики. В данном сценарии сильнее всего снижается спрос на нефть, не в последнюю очередь за счет отказа от практики использования нефтепродуктов от генерации тепло и электро энергии.

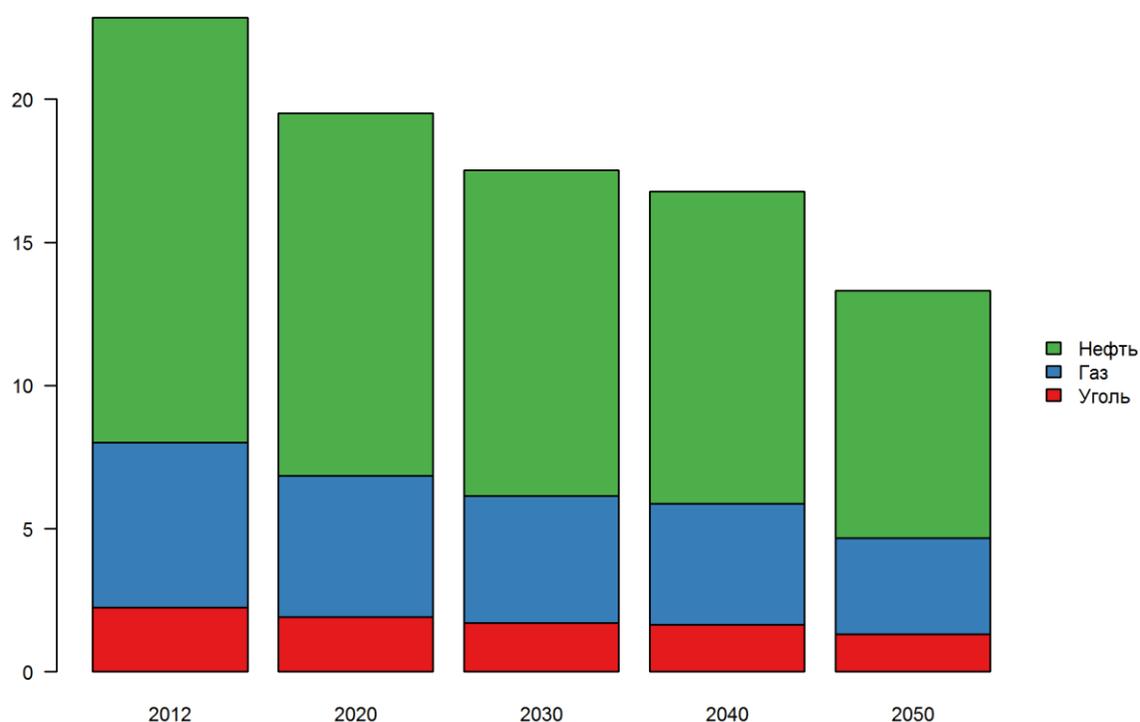


Рисунок 3 – Первичный спрос на ископаемые виды топлива в сценарии умеренной климатической политики, ЭДж

РЕЗУЛЬТАТЫ

В данном разделе приведены сценарии сокращения эмиссии CO₂ от сжигания ископаемых видов топлива на 50% по сравнению с 1990 годом. Данные сценарии являются относительно мягкими, с учетом значительного сокращения эмиссии в результате трансформационного кризиса энергетической системы в 90х годах, роста энергоэффективности и примерно постоянным уровнем населения.

На рисунке 5 приведена динамика добычи ископаемых видов топлива (угля, газа, нефти) и биотоплива в сценарии "Сокращение эмиссии на 50% по сравнению с 1990 годом" с 2012 по 2050 год в ЭДж. В сценарии добыча ископаемых видов топлива с 2012 по 2050 года снизилась на четверть. Стоит отметить значительный прирост добычи биотоплива с практически до 1.5 ЭДж, что является консервативной оценкой доступности биотоплива. Основными источниками биотоплива в России может стать отходы лесной промышленности, сельского хозяйства, и утилизация мусорных отходов.

Наибольшее снижение добычи наблюдается в угле, на 73%, за счет снижения потребления угля для нужд тепло и электро генерации. Снижение потребления нефти на 35% в первую очередь происходит за счет повышения эффективности автомобильного транспорта, и активного внедрения электрокаров, включая гибриды и замены нефтепродуктов на биотопливо. Потребление газа практически не меняется.

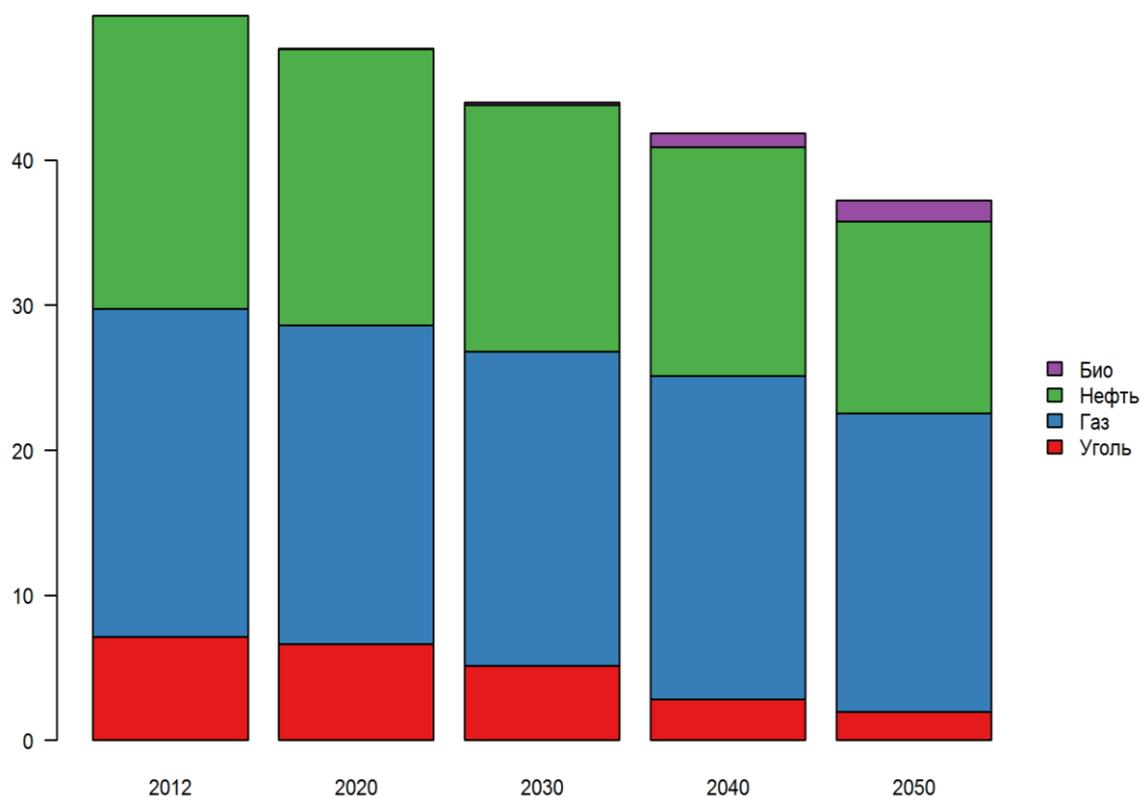


Рисунок 4 – Добыча ископаемых видов топлива в сценарии "Сокращение эмиссии на 50% по сравнению с 1990 годом", ЭДж

Динамика использования первичных источников энергии для нужд электро и теплоэнергетики показана на рисунке 6. В целом использование первичных источников энергии для нужд тепло и электро энергетики к 2050 году снизилось на 1.5 ЭДж, в первую очередь за счет практически полного вытеснения низкоэффективных угольных электростанций.

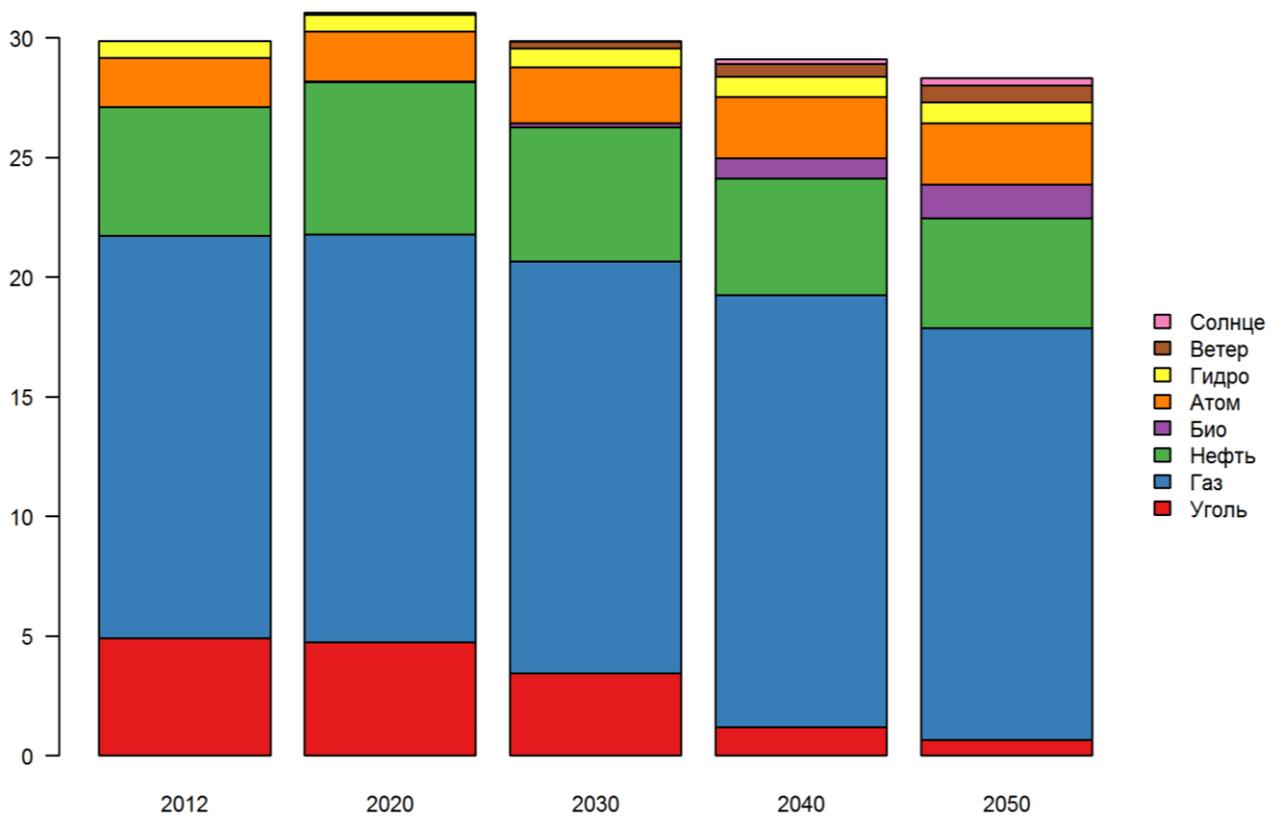


Рисунок 5 – Использование первичных источников энергии в сценарии "Сокращение эмиссии на 50% по сравнению с 1990 годом", ЭДж

В сценарии к 2050 году значительная доля электроэнергии производится при помощи ВИЭ (см. рисунок 7), в первую очередь энергии солнца и ветра. При этом доля ВИЭ не превышает 20%, что не требует дополнительных затрат на балансировку.

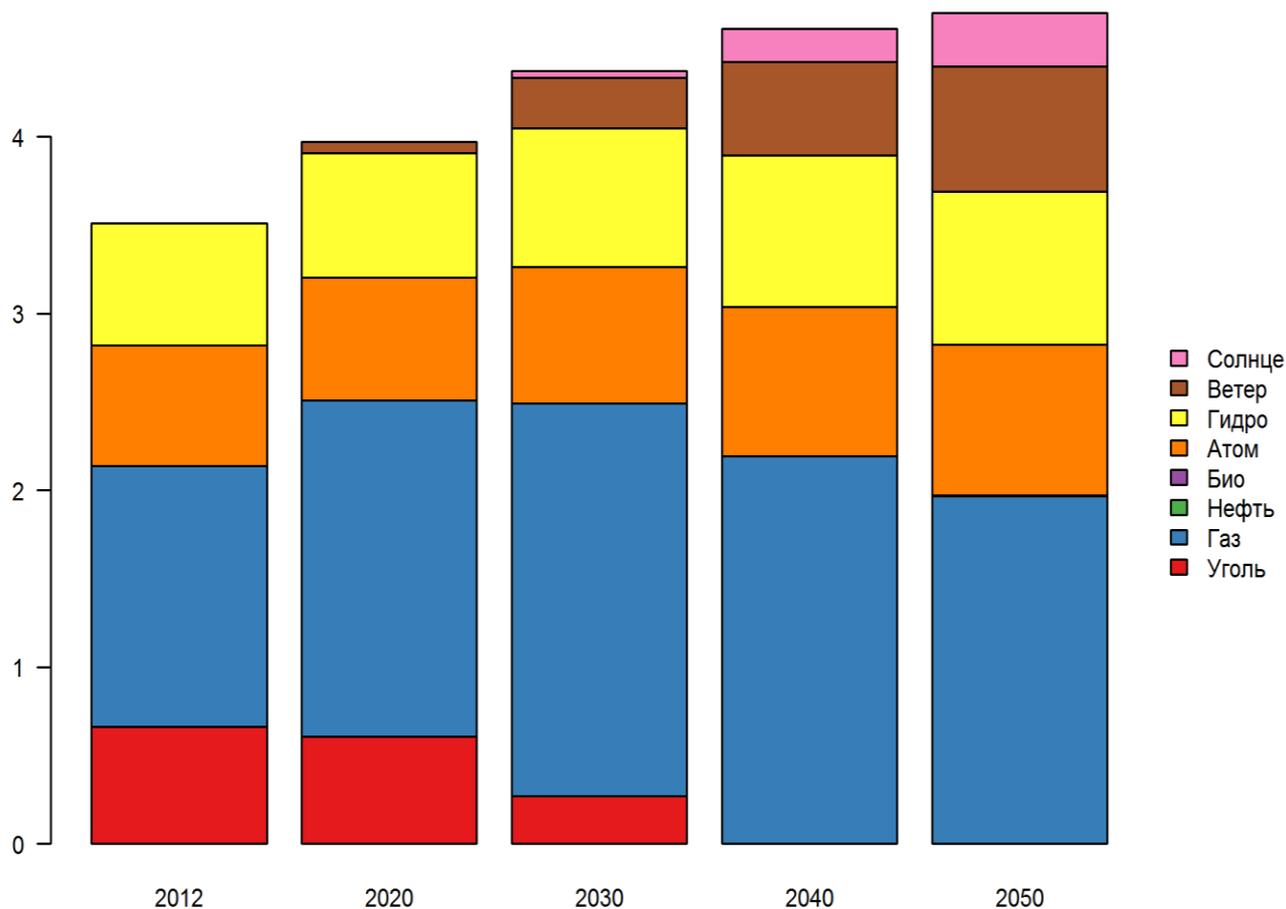


Рисунок 7 – Генерация электроэнергии по видам топлива, в сценарии "Сокращение эмиссии на 50% по сравнению с 1990 годом", ЭДж

Динамика показателя эмиссии CO₂ в разрезе по секторам в сценарии "Сокращение эмиссии на 50% по сравнению с 1990 годом" представлена на рисунке 8. Общая эмиссия CO₂ снизилась. В разрезе по секторам, можно отметить, что в абсолютных величинах сильнее всего снизился объём эмиссии CO₂ в секторе электроэнергетики – на 291.36 Мт или на 64.2%. Так же значительно снизилась эмиссия от транспорта за счет перехода к другому виду топлива и повышения энергоэффективности автомобильного транспорта до 5—7 л на 100 км, в зависимости от региона. Данная эффективность доступна при имеющемся уровне технологического развития. В работе предполагалась, что эффективность остальных секторов (промышленность и сельское хозяйство) увеличится не значительно.

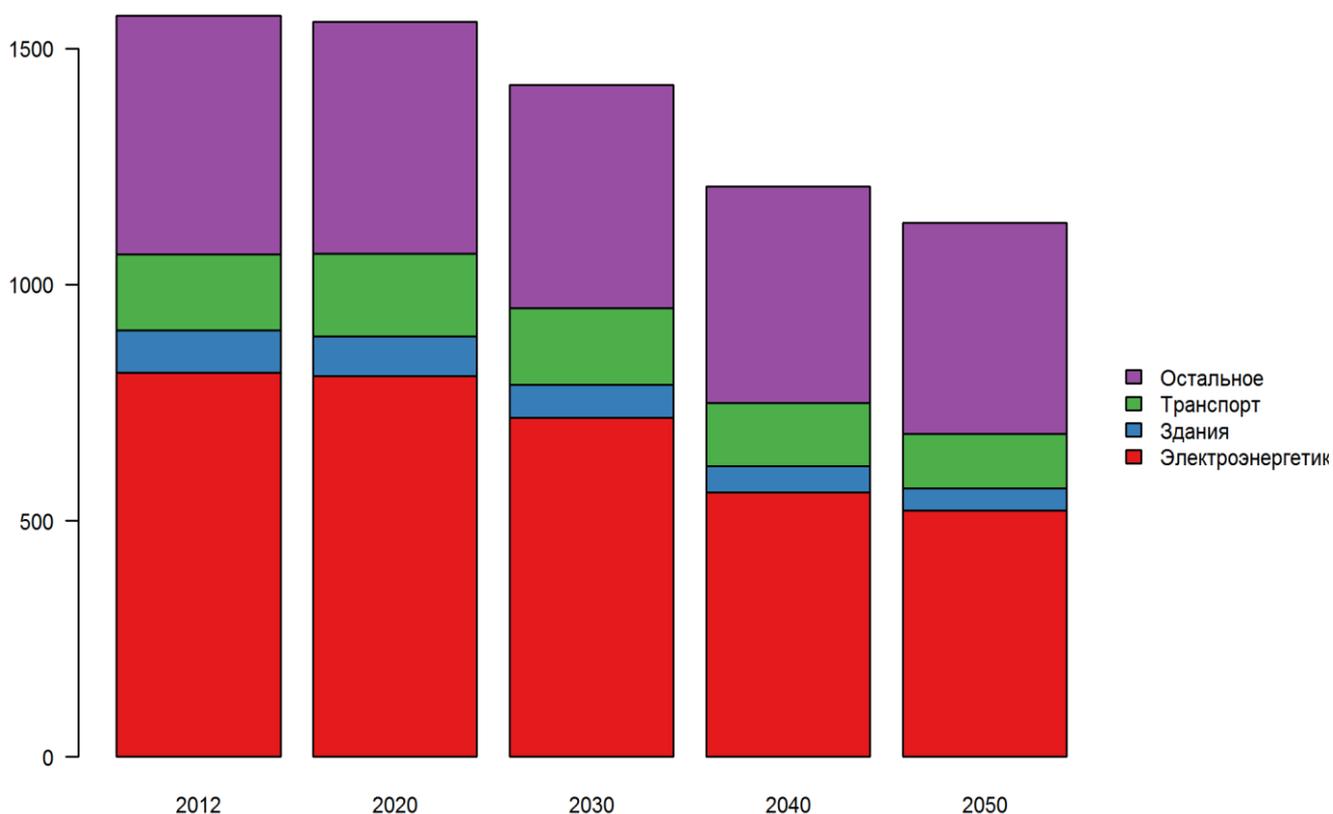


Рисунок 8 – Эмиссия CO₂ по секторам в сценарии "Сокращение эмиссии на 50% по сравнению с 1990 годом", Мт

В целом по всем регионам происходит повышение энергоэффективности зданий. Наибольший прирост энергоэффективности к 2050 году демонстрируют Тюменская область и Дальний Восток – с 500 кВтЧ на м² в год в 2012г до 290 кВтЧ на м² в год. Согласно сценарию средняя энергоэффективность зданий составляет 250—300 кВтЧ на м² в год, что не только далеко от наилучших доступных технологий, но и от технологий, используемых в массовой застройки в России сегодня.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

По сравнению со сценарием "Эффективный по издержкам", в котором центральный планировщик не проводит активную экологическую политику, добыча ископаемых видов топлива к 2050 году снижается до 37 ЭДж при снижении эмиссии на 50% (до 35.28 ЭДж при снижении эмиссии на 60%), против 39.5 ЭДж в сценарии "Эффективный по издержкам". Для компенсации снижения ископаемых видов, активную роль при проведении активной политики начинают играть биотопливо, ветряная и солнечная энергии. Основное снижение эмиссии CO₂ при проведении активной экологической приходится на сектор тепло и электрогенерации, и в меньшей степени на транспорт. Такое значительное снижение выбросов является следствием, сокращением потребления угля и нефти для генерации электричества и тепла. Во всех сценариях происходит повышение энергоэффективности зданий, так как значительная часть необходимых для этого мер являются экономически выгодными. По мимо этого происходит рост энергоэффективности автомобилей, который сопровождается большей долей биотоплива и электромобилей при проведении активной экологической политики.

1 IEA, “Energy balances statistics,” 2014.

2 МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ, “Основные показатели работы нефтяной отрасли в 2016 году.” [Online]. Available: <https://minenergo.gov.ru/node/910>.

3 “Годовой Отчет Группы ‘РУСГИДРО’ За 2015 Год,” 2016.

4 “Росатом. Годовой отчет 2015 года,” 2016.

5 Екатерина Добрынина, “Опрос: Россияне мечтают добираться до работы за 20 минут,” Российская газета, 19-Jan-2015.

6 “Жилищное хозяйство в России,” 2016.

7 Федеральная служба государственной статистики Демографический ежегодник России - 2015 г.