The background image shows an industrial facility, likely a power plant or refinery, with several tall smokestacks emitting thick plumes of white smoke. The scene is set against a sky with soft, golden light, suggesting dawn or dusk. In the foreground, a body of water reflects the smokestacks and the sky. The overall composition is framed by large black triangular shapes on the right and bottom-left sides.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ

Казань, 2021

Академия наук Республики Татарстан
Институт прикладных исследований АН РТ

Плотникова И.Н., Володин С.А.,
Кочнева Ю.Ю., Саляхова А.Р.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ

Методическая разработка
Часть 1

Казань, 2021

УДК 338.22:502.13
К786

Рецензент

д.х.н., член-корреспондент АН РТ *Р.Р. Шагидуллин*

Научные редакторы

д.ф.-м.н., академик АН РТ, профессор *М.Х. Салахов*;

д.ф.-м.н., член-корреспондент АН РТ, профессор *М.С. Тагиров*

Плотникова И.Н., Володин С.А., Кочнева Ю.Ю., Салахова А.Р.

Актуальные вопросы декарбонизации. Часть 1 / Под научной редакцией М.Х. Салахова и М.С. Тагирова – Казань: Изд-во «ФЭН» Академии наук РТ, 2021. – 56 с.

ISBN 978-5-9690-0889-2

В методической разработке рассмотрены актуальные вопросы декарбонизации в аспекте установленного роста концентраций парниковых газов в атмосфере Земли. Публикация содержит основную информацию о парниковых газах и степени их влияния на глобальное потепление, наблюдаемое в настоящее время на нашей планете. В ней рассмотрены основные источники поступления CO₂ в атмосферу Земли, соотношения антропогенных и природных выбросов метана, оценка вклада различных источников энергии в общую эмиссию диоксида углерода и метана в атмосферу.

Методическая разработка предназначена для широкого круга специалистов, студентов и аспирантов, интересующихся проблемой возникновения на Земле парникового эффекта в результате антропогенной деятельности человека.

Авторы выражают благодарность академику, президенту Академии наук РТ Салахову М.Х. и член-корреспонденту Академии наук РТ, директору Института прикладных исследований АН РТ Тагирову М.С. за постоянную методическую и моральную поддержку.

Подписано в печать 28.10.2021.

Бумага офсетная. Формат 60x84 1/16. Гарнитура «TimesNewRoman».

Усл. п. л. 3,26. Тираж 50 экз. Заказ №28.10/21-1

Издательство Академии наук Республики Татарстан

420111, г. Казань, ул. Баумана, 20

e-mail: izdat.anrt@yandex.ru

ISBN 978-5-9690-0889-2

© Коллектив авторов, 2021

© Изд-во АН РТ, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Не будет преувеличением сказать, что на рубеже веков предположение об изменении климата и глобальном потеплении не просто вошло в число наиболее актуальных мировых проблем, но обусловило разработку и принятие целого ряда международных законодательных решений, определяющих в настоящее время экономическую политику многих стран.

Постепенный переход данной проблемы из сферы климатологии и экологии в сферу экономики ведущих промышленных отраслей закономерен, поскольку эффективный экономический механизм, мотивирующий к активному переходу на энергосберегающие технологии, пока не найден. А налоговые стимуляторы в странах Европейского Союза (ЕС), позволившие значительно снизить выбросы парниковых газов (ПГ), привели к увеличению стоимости энергоемкой продукции и снижению ее конкурентоспособности на фоне стоимости энергоносителей в странах, обеспечивающих импорт углеродоемкой продукции в ЕС.

Вполне закономерно возникнув в периоды третьей и четвертой промышленных революций, проблема потепления климата является результатом не прекращающегося роста потребительских запросов населения (в первую очередь высокоразвитых и развитых стран), что обуславливает постоянный рост уровня потребления природных ресурсов. Стремление к постоянному росту прибыли и нестабильность на мировом рынке энергоресурсов тормозит внедрение и использование «зеленых» технологий. Однако, очевидно и то, что развитие научно-технического прогресса является необратимым процессом, а страны, определяющие экономику и политику планеты, вряд ли сойдут с технократического пути развития человечества.

По мнению ведущих специалистов по климату удержание роста температуры планеты в рамках 1,5°C ещё возможно. Эта цель отражена в Парижском климатическом соглашении, которое приняли страны ООН в декабре 2015 года.

Но достижение цели предполагает быстрые и масштабные действия по сокращению выбросов ПГ во всех отраслях экономики. В первую очередь акцент делается на добычу и использование угля, которые нужно снизить на две трети к 2030 году и полностью прекратить к 2050 году. Аналогичными темпами необходимо сокращать потребление нефти и газа.

В случае отсутствия позитивных изменений, среднегодовая температура на планете в условиях глобального потепления может достигнуть отметки 1,5° С между 2030 и 2050 годами. Компьютерное моделирование показывает, что последствия этого будут разрушительными для всего мира, включая Россию, на территории которой среднегодовая температура увеличивается в два с половиной раза быстрее, по сравнению со средними значениями на планете.

Изменение климата уже привело к тому, что за последние 20 лет число опасных метеорологических явлений выросло более чем в два раза. По данным Росгидромета около 60% российской территории находится в зоне вечной мерзлоты, которая тает, что может привести к разрушению зданий и стратегически важной инфраструктуры в этих районах[6].

В отличие от многих стран мира, достигших значительного прогресса в области декарбонизации производства и энергопотребления, в России проблема внедрения низкоуглеродных технологий пока не является приоритетной, поскольку и глобальное потепление, и изменение климата не определяют систему энергопотребления для населения и для бизнеса, не мотивируют к использованию ресурсосбережения в различных отраслях промышленности. Вследствие этого, к сожалению, сегодня Россия не владеет лучшими международными практиками в области экологического и энергетического регулирования, а также действенными экономическими механизмами, стимулирующими процессы декарбонизации. Развитие «зеленой» энергетики в России достаточно долго не было приоритетом из-за наличия в стране огромных запасов ископаемого топлива – угля, торфа, нефти, газа и природных битумов. Вследствие этого поэтапное развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) началось лишь с 2007-2008

годов с принятием первых законодательных и нормативных актов по поддержке ВИЭ.

Однако, ратифицировав Парижское соглашение, Россия приняла на себя обязательства достичь к 2030 году не более 70 % выбросов парниковых газов от уровня 1990 г. Поскольку в 2018 году уровень выбросов парниковых газов из России уже снизился до 52 % от уровня 1990 года вследствие значительного сокращения числа производственных предприятий, первый определяемый на национальном уровне вклад Российской Федерации является предусматривает к 2030 году сокращение выбросов парниковых газов до 70 процентов относительно уровня 1990 года. Данный показатель определен необходимостью устойчивого развития экономики, охраны и повышения качества поглотителей и накопителей парниковых газов.

Вопрос о том, какими путями это будет достигнуто и как отразится на экономике России, активно дискутируется сегодня на различных уровнях и широко обсуждается в СМИ. Несомненно, ужесточение экологических стандартов производства, не только скажется на прибылях российского бизнеса и приведет к сокращению инвестиций в недостаточно "зеленые" проекты.

По мнению спецпредставителя президента РФ Руслана Эдельгериева проблема перехода экономики России на путь развития с низким уровнем выбросов парниковых газов является «чрезвычайно тонкой и чувствительной, требующей самой тщательной и профессиональной проработки» [4]. В частности, в настоящее время около 25% ВВП и более 50% доходов бюджета России формируются за счет энергетического сектора, а многие из российских регионов исторически ориентированы на добычу и переработку ископаемых источников энергии – угля, нефти и газа, что связано как с вопросами занятости населения и его жизнеобеспечения, так и с экономической ситуацией в отраслях экономики, определяющих бюджет России.

В данной работе представлен обзор современного состояния проблемы декарбонизации, секвестрации парниковых газов и возможных путей ее решения.

1. Парниковые газы и их содержание в атмосфере Земли

Климат является совокупностью всех погодных (атмосферных) условий, характерных для конкретной территории за некоторый продолжительный промежуток времени. Масштаб данной конкретной территории может быть различен – от населенного пункта, района или региона до континента или планеты.

Климатическая система планеты Земля объединяет в себе атмосферу, гидросферу (океаны, моря, реки, озера, подземные воды и болота) литосферу (твердую оболочку Земли), криосферу (снег, морской и горный лед, вечную мерзлоту) и биосферу (все виды живых организмов). Данные составляющие климатической системы тесно связаны и постоянно взаимодействуют между собой, определяя взаимный энерго- и массообмен, обуславливая развитие различных природных процессов.

Температура Земли и всей ее климатической системы (атмосферы, гидросферы, литосферы, криосферы и биосферы) определяется балансом между энергией планеты (внутреннее тепло Земли и поступающая солнечная энергия) и энергией, уходящей из атмосферы в космос. Данный баланс зависит от многих факторов, в том числе существенное влияние на него оказывает содержание в атмосфере твердых и жидких частиц – газов, аэрозолей, которые, обладая способностью поглощать тепло, задерживают тепловые излучения океанов и материков и создают парниковый эффект.

Естественный парниковый эффект обусловлен незначительным количеством водяного пара (H_2O), диоксида углерода (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O) в атмосфере и сохраняет тепло у поверхности Земли, благодаря чему средняя глобальная температура воздуха у земной поверхности равна примерно плюс $14^{\circ}C$ вместо минус $19^{\circ}C$ (при условии отсутствия естественного парникового эффекта). Основная роль в создании парникового эффекта принадлежит водяному пару.

Как известно, климат планеты непостоянен и определяется различными естественными причинами. Влияние на него оказывают из-

менение размеров и взаимного расположения материков и океанов, изменение солнечного излучения, изменения орбиты Земли, прозрачность атмосферы и ее состав (при вулканической активности Земли), концентрация CO_2 в атмосфере при ее взаимодействии с биосферой, отражательная способность поверхности Земли (альбедо), количество выделяемого эндогенного тепла планеты (в глубинах океана, в районах активного магматизма и вулканизма).

Например, изменение орбиты Земли определило климатические вариации последних миллионов лет – циклическое повторение холодных ледниковых и межледниковых периодов. В частности, настоящее время в климатическом отношении – это очередной межледниковый период, который длится уже 9–10 тысяч лет. Также в истории планеты были периоды и «погорячее» – в период динозавров, к примеру, среднегодовая температура на планете была на 7 градусов выше современной (учебник).

Из всех перечисленных причин на изменение климата планеты наиболее существенно способно повлиять изменение состава атмосферы Земли. Наличие в составе атмосферы парниковых газов, задерживающих тепло Земли, способно приводить к увеличению среднегодовой температуры на ее поверхности.

В последние десятилетия установлен факт устойчивого роста средней температуры на поверхности нашей планеты (рис. 1). В связи с этим, пятый оценочный доклад МГЭИК (Межправительственной группы экспертов по изменению климата) (2013-2014 гг.) с вероятностью более 95% констатирует влияние антропогенной деятельности человека на глобальное потепление, начавшееся с середины XX века (Национальный доклад о кадастре).

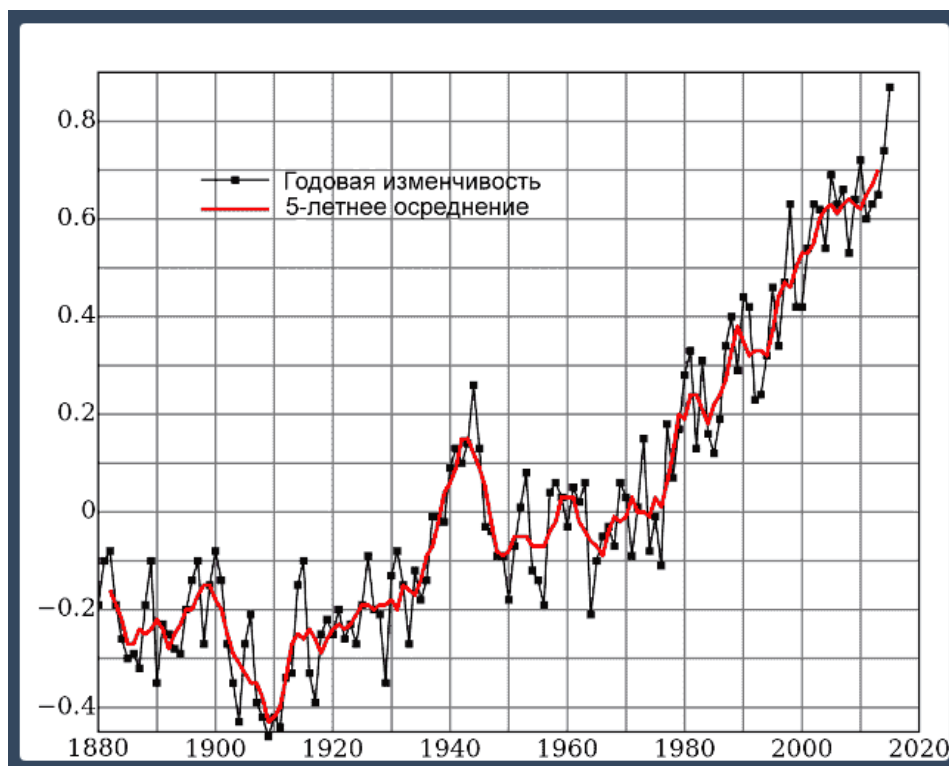


Рисунок 1. Рост среднегодовой температуры на планете (по данным [14])

Что же такое парниковые газы, и каков механизм создания парникового эффекта при наличии их в атмосфере? Начнем с краткой истории.

Проблема изменения климата привлекла внимание учёных ещё в XVII веке в результате чего была обнаружена связь между периодами изменения климата и геологическими эпохами. В 1686 г. Эдмунд Галлей опубликовал в философских трудах Королевского общества свое знаменитое описание тропических ветров под названием «Историческая справка о пассатах и муссонах, наблюдаемых в морях между тропиками и вблизи тропиков, и попытка определить физическую причину указанных ветров». В 1735 г. Джордж Гадлей постулировал влияние вращения Земли на формирование восточных пассатов [18].

В 1827 году исследования француза Жозефа Фурье позволили ему предположить, что атмосфера Земли задерживает тепло и привели к открытию парникового эффекта, что было первым революционным шагом в изучении климата [5].

В конце 1850-х годов Джон Тиндаль продемонстрировал, как атмосфера Земли может создавать парниковый эффект, аргументируя свои предположения тем, что воздух у поверхности Земли теплый. Он также показал, что парниковые газы излучают и поглощают инфракрасную радиацию [18].

В 1896 году Сванте Аррениус, рассчитав коэффициенты поглощения инфракрасного излучения водяным паром и углекислым газом в атмосфере, и выявив изменения температуры Земли при вариациях концентрации углекислого газа, предположил связь между периодами оледенения и уменьшением концентраций CO_2 в атмосфере.

В 1958 году измерения углекислого газа в атмосфере на Мауна Лоа (Гавайи, США), проводимые Чарльзом Дэвидом Килингом, показали, что концентрация CO_2 систематически повышалась из года в год. Считается, что именно с этого началось изучение огромного влияния на изменение климата, вызванного деятельностью человека. В начале 1980-х годов были выполнены первые модельные расчеты возможных последствий растущей концентрации CO_2 , а уже к концу 1980-х годов в Метеорологическом бюро и в других организациях они стали неотъемлемой частью исследований климата [18].

С 1988 года начала свою деятельность Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), созданная ООН и являющаяся основной научной организацией, изучающей вопросы изменения климата. Регулярные доклады МГЭИК анализируют и обобщают информацию и научные знания об изменении климата, а также о возможных последствиях и рисках, обусловленных этим изменением. Работа МГЭИК во многом определяет деятельность и повестку Рамочной конвенции ООН об изменении климата – основного международного договора по изменению климата, подписанного в 1992 году [5].

Особенность парниковых газов заключается в том, что они пропускают коротковолновое излучение, исходящее от солнца, и задерживают инфракрасное длинноволновое тепловое излучение, исходящее от Земли в космос. Это ведет к нагреванию поверхности планеты до средней приземной температуры, которая на 33° по Цельсию вы-

ше, чем это было бы в отсутствие естественного парникового эффекта.

Киотский протокол определяет шесть основных парниковых газов (табл. 1), которые оказывают наибольшее влияние на создание парникового эффекта в атмосфере Земли:

- углекислый газ (CO₂),
- метан (CH₄),
- закись азота (N₂O),
- гидрофторуглероды,
- перфторуглероды,
- гексафторид серы (SF₆).

Многие специалисты-климатологи включают в число парниковых газов и водяной пар, поскольку его вклад в создание парникового эффекта оценивается достаточно высоко.

Таблица 1

Парниковые газы и степень их влияния на глобальное потепление

Наименование вещества	Формула	Коэффициент потенциального глобального потепления
Углекислый газ	CO ₂	1.0
Метан	CH ₄	41783
Закись азота	N ₂ O	320
Гидрофторуглероды (ГФУ)		
HFC-23 Трифторметан (Фреон-23)	CHF ₃	11700
HFC-32 Дифторметан (Фреон-32)	CH ₂ F ₂	650
HFC-41	CH ₃ F	150
HFC-43-10mee	C ₅ H ₂ FN ₁₀	1300
HFC-125 Пентафторэтан (Хладон-125)	C ₂ HF ₅	2800
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄ (CHF ₂ CHF ₂)	1000
HFC-134a 1.1.1,2-Тetraфторэтан (Фреон-134a)	C ₂ H ₂ F ₄ (CH ₂ FCF ₃)	1300
HFC-152a 1,1-Дифторэтан	C ₂ H ₄ F ₂ (CH ₃ CHF ₂)	140

(Фреон-152)		
HFC-143	$C_2H_3F_3$ (CHF_2CH_2F)	300
HFC-143a	$C_2H_3F_3$ (CF_3CH_3)	3800
HFC-223ea 1,1,1,2,3,3,3- Гептафторпропан (Хладон-227ea)	C_3HF_7	2900
HFC-236fa	$C_3H_2F_6$	6300
HFC-245ca	$C_3H_3F_5$	560
Перфторуглероды (ПФУ)		
Перфторметан Тетрафторметан (Фреон 14)	CF_4	6500
Перфторэтан Гексафторэтан (Фреон-116)	C_2F_6	9200
Перфторпропан Октафторпропан (Хладон-218)	C_3F_8	7000
Перфторбутан Декафторбутан (Фреон 31-10)	C_4F_{10}	7000
Перфторциклобутан	c- C_4F_8	8700
Перфторпентан	C_5F_{12}	7500
Перфторгексан	C_6F_{14}	7400
Гексафторид серы	SF_6	23900

Из этих шести газов три (углекислый газ, метан и водяной пар) имеют первостепенное значение, поскольку их попадание в атмосферу и их увеличение в ней напрямую определяется деятельностью человека.

Углекислый газ. В настоящее время общепризнанным считается, что именно двуокись углерода является основной причиной изменения климата, вследствие постоянного роста объема сжигания ископаемого топлива.

Прогресс развития человечества полностью определяется количеством затраченной энергии, источником которой издревле являлись углеродсодержащие полезные ископаемые и древесина (рис. 2).

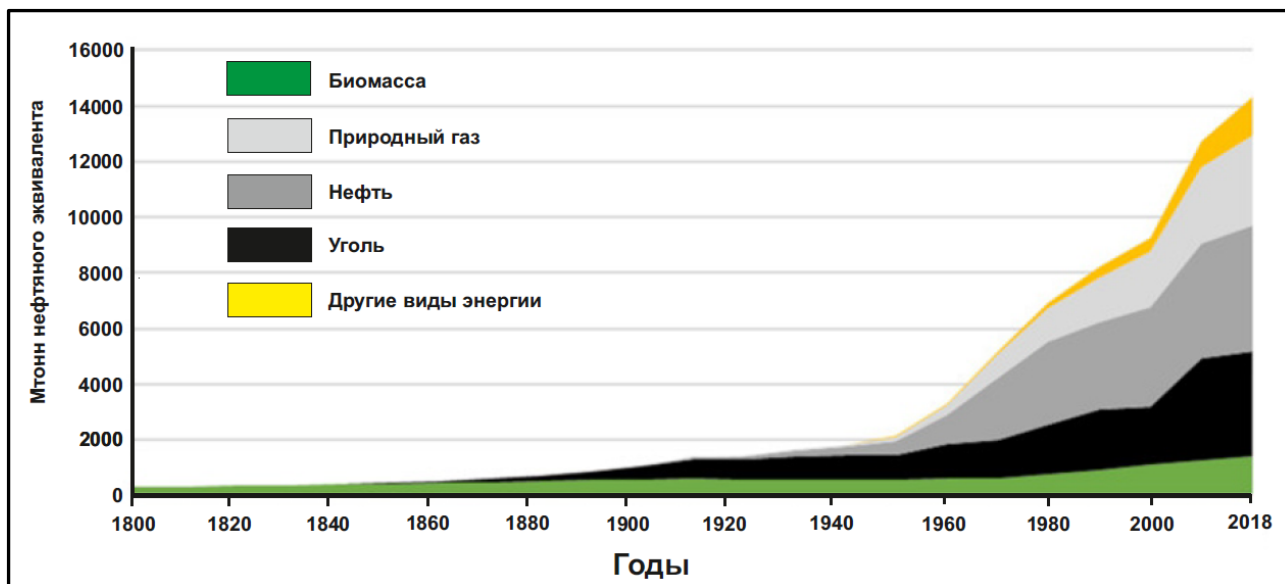


Рисунок 2. Распределение потребляемой в мире энергии по источникам ее получения в период с 1800 по 2018 годы (по данным [Natural gas: a techno-economic assessment](#) | [Encyclopédie de l'énergie \(encyclopedie-energie.org\)](#))

Топливное минеральное сырье размещено на Земле неравномерно и, как правило, связано с осадочными бассейнами платформенных структур. К топливным ресурсам прежде всего относятся нефть, природный газ и уголь, дающие миру более 80% производимой энергии. Объемы выбросов CO_2 , выделяемые при сжигании различных видов топлива, различается весьма существенно (табл. 2).

Таблица 2.

Коэффициенты для расчета выбросов CO_2 при сжигании ископаемого топлива

Вид топлива	Выбросы CO_2 , тонна $\text{CO}_2/\text{тыс.м}^3$	Комментарии
Природный газ	1,85	
Каменный уголь	2,7-2,8	в зависимости от марки угля
Торф	1,5	одна тонна торфа дает в 2 раза меньше энергии, чем тонна угля
Топочный мазут	3,1	
Автомобильный	3,0 или 2,1-2,3	в зависимости от температуры топли-

бензин		ва и его марки (летнее более плотное, зимнее менее плотное)
Дизельное топливо	3,15 или 2,6-2,8	в зависимости от температуры топлива и его марки (летнее более плотное, зимнее менее плотное)
Авиационный керосин	3,1	
Древесное топливо и сельскохозяйственные отходы	0	выбросы CO ₂ считают равными нулю, т.к. CO ₂ , поступивший в воздух при горении, ранее был поглощен из атмосферы в процессе роста растений

Сжигание ископаемого топлива (газа, нефти и угля) для производства энергии – главный источник парниковых газов. Предприятия различных отраслей мировой экономики обеспечивают сегодня эмиссию порядка 54 млрд. тонн CO₂-экв., 83% из них связаны с добычей и последующим использованием ископаемых топлив – угля, нефти и газа. К примеру, 57% эмиссий парниковых газов (ПГ) от использования нефти (нефтепродуктов и топлива) сконцентрированы в сфере транспорта. От использования природного газа выбросы CO₂ на 72% обусловлены тепло- и электрогенерацией, поскольку природный газ в первую очередь является энергоносителем в промышленности и бытовой сфере [9].

По данным World Resources Institute, на получение энергии приходится 76% эмиссии углекислого газа от человеческой деятельности. В это понятие включают как непосредственно производство электроэнергии для промышленных и бытовых нужд (30,4% мировых выбросов), так и сжигание топлива на транспорте (15,9%), в промышленном производстве (12,4%), строительстве и обслуживании зданий (5,5%) и других областях [13].

Выбросы CO₂ от сжигания топлива – не только главная составляющая всех антропогенных выбросов парниковых газов, но и их наиболее точно известная часть. Во всех странах сжигание топлива – предмет строгой статистической отчетности. При этом выбросы CO₂

при сжигании угля, газа, нефтепродуктов и торфа зависят, прежде всего, от количества использованного топлива. Нарастание объемов производства, рост единиц различных видов транспорта, развитие инфраструктуры городов и поселков, расширение и модернизация мегаполисов – все это требует дополнительной энергии, что и диктует необходимость постоянного увеличения добычи топливного минерального сырья и его сжигания.

На рисунке 3 отражена динамика роста выбросов CO₂ в мире за период с 1990 по 2020 гг.

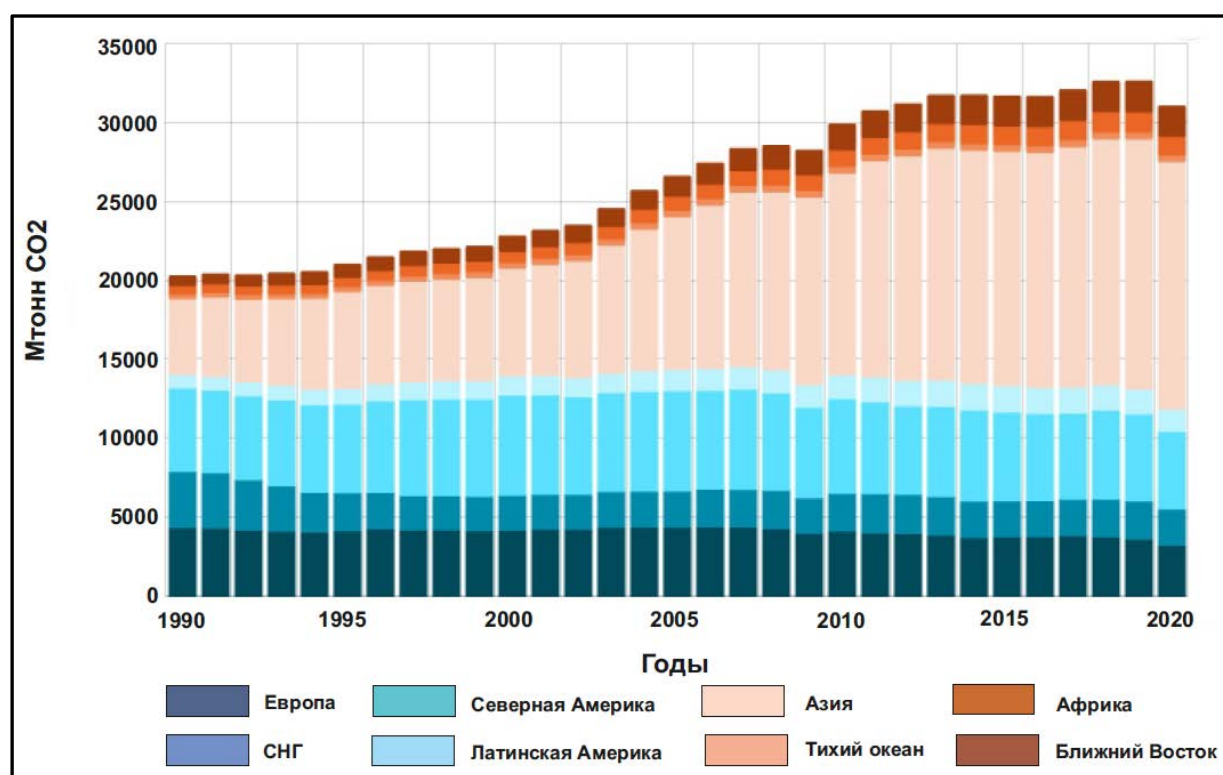


Рисунок 3. Тенденция роста эмиссии CO₂ в мире за период 1990-2020 гг. (по данным [25])

В 2020 году в общем объеме использованных минеральных топливных ресурсов (нефти, газа и угля) 44% пришлось на уголь, 31% – на нефть и 24% – на природный газ [25]. Объем выбросов CO₂ в 2020 году по первым 10-ти странам, обеспечивающим максимальную эмиссию диоксида углерода, выглядит следующим образом (рис. 4).

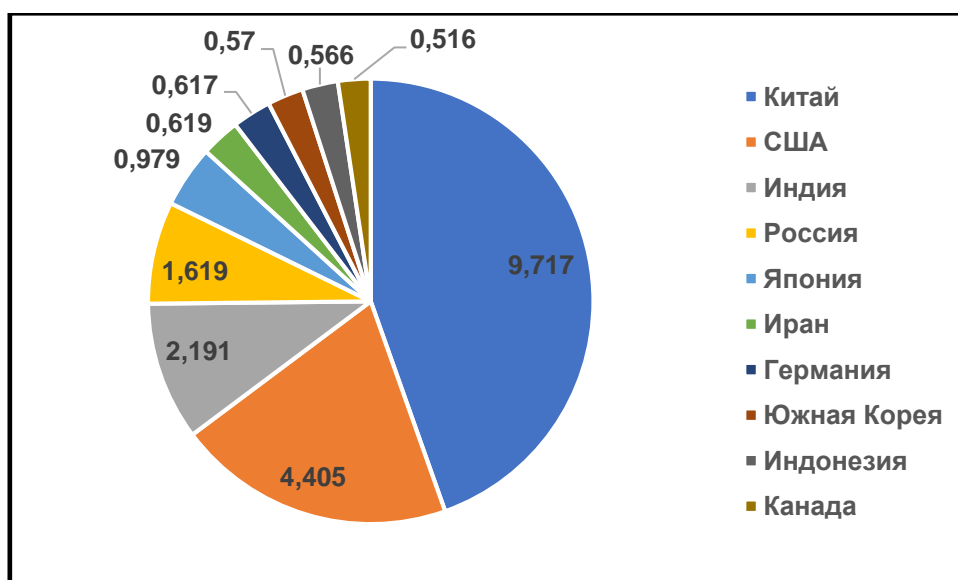


Рисунок 4. Выбросы CO₂ в мире (Мт) от сжигания топлива (по данным [25])

Различия в объемах эмиссии CO₂ как по странам, так и по различным видам топлива наглядно можно продемонстрировать на примере анализа выбросов CO₂ в мире в 2019 году.

Как видно из рис. 5, по данным [25] в настоящее время основным источником эмиссии CO₂ является уголь, который активно используется в Китае, США, Индии, странах ЕС, Японии, ЮАР и в других странах.

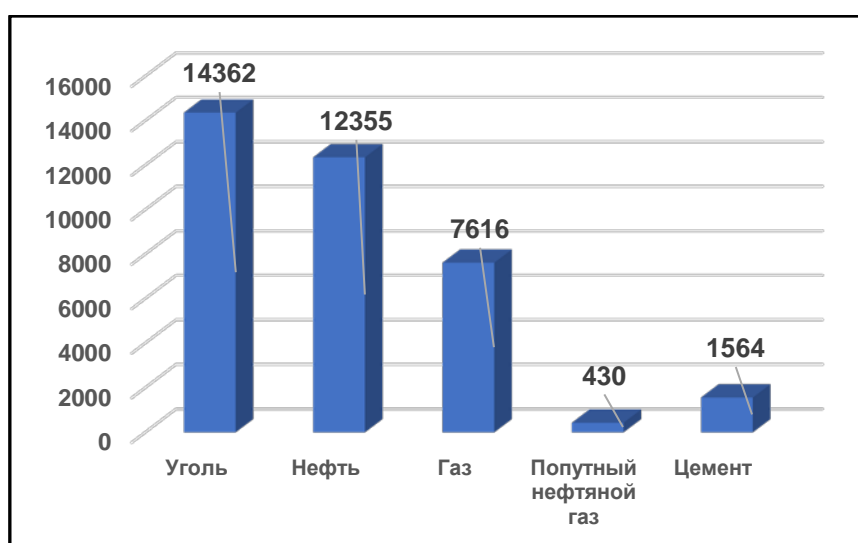


Рисунок 5. Эмиссия CO₂ (Мт) в мире от использования различных видов углеродсодержащего ископаемого топлива и от производства цемента в 2019 году (по данным [25]).

Как видно из рисунка 5, в число основных источников эмиссии CO_2 входит производство цемента. Как известно, с момента изобретения цемента в XVIII веке, состав сырья и технология его производства серьезных изменений не претерпели. Цемент по-прежнему получают из смеси обожженного известняка, глины и гипса, которые при разведении водой и контакте с воздухом превращаются в твердый материал, подобный камню. Поскольку технология изготовления цемента включает обжиг в клинкерных печах, в результате этого процесса попадает большое количество CO_2 , сажи, ионов тяжелых металлов, различных едких газов и прочих опасных веществ. Масса этих выбросов сопоставима с весом производимого цемента, в результате чего данная сфера промышленности является одним из самых больших источников выбросов парниковых газов.

В 2020 году в ряду трех основных источников энергии – нефть, газ, уголь – доля использования угля составила 44% (рис. 6).

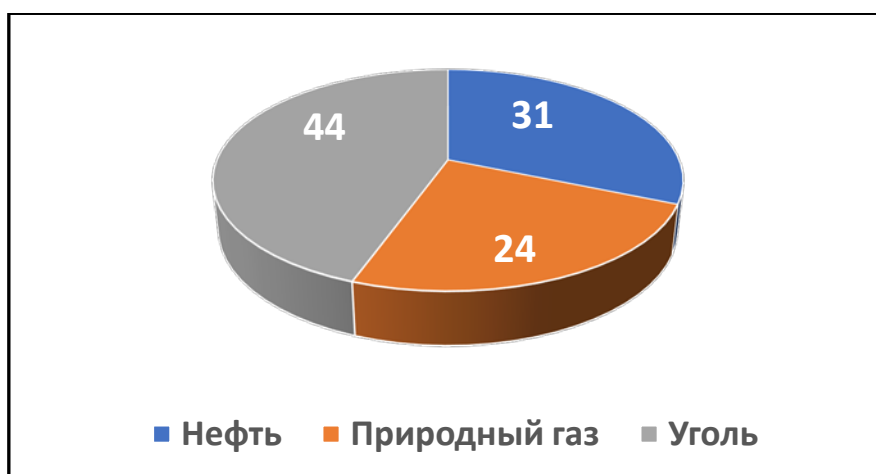


Рисунок 6. Доля использования (в %) природных источников энергии в мире в 2020 году (по данным [25])

Наиболее активно уголь сжигается в Индии и Китае, где его использование обеспечивает получение 70% и 78% энергии соответственно. В России получение энергии на 56% обеспечено природным газом, на 24% и 20% соответственно углем и нефтью.

По объемам выбросов CO_2 от использования нефти, занимающей вторую позицию по эмиссии диоксида углерода, лидирует США, а Россия занимает 5 строчку в перечне стран, отвечающих за выбросы

CO₂ при использовании нефти (после США, Китая, Индии и Японии). На рисунке 7 приведены объемы выбросов CO₂, обусловленные использованием нефти в первых 10-ти странах, обеспечивающих максимальную эмиссию диоксида углерода.

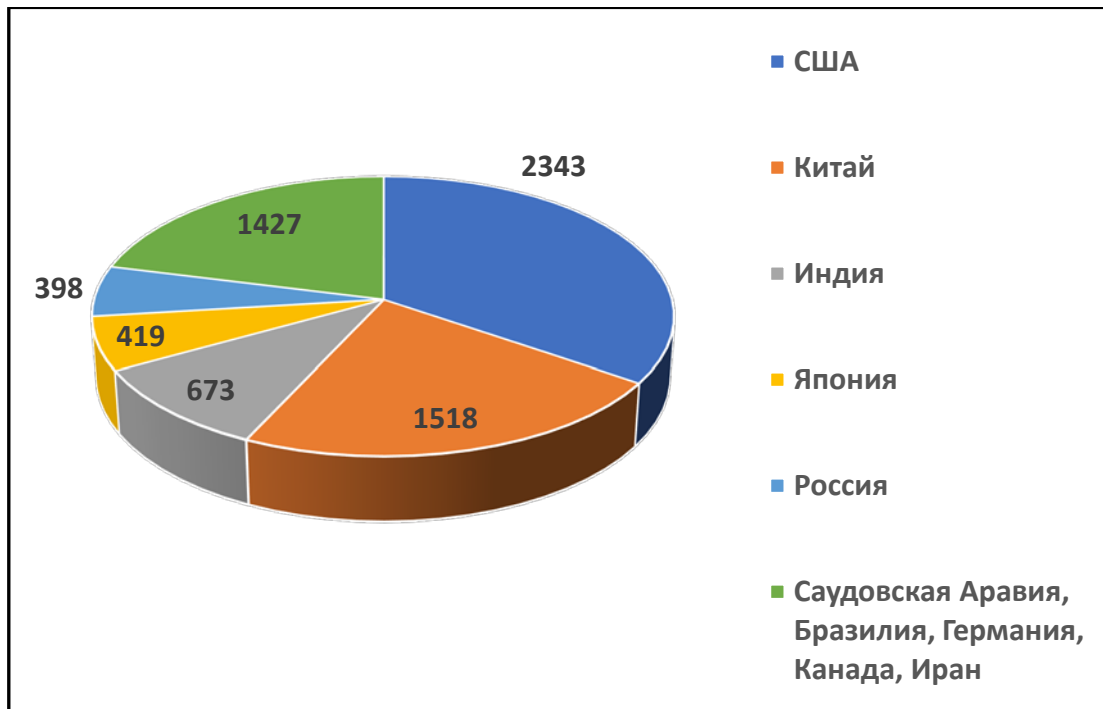


Рисунок 7. Уровень выбросов CO₂ (Мт) в 2019 году при использовании нефти в 10-ти странах, обеспечивающих максимальную эмиссию диоксида углерода (по данным [25]).

Использование природного газа является гораздо более «зеленым» по сравнению с углем и нефтью. И вновь США является лидером по эмиссии CO₂ при использовании природного газа, а Россия занимает вторую позицию, выбрасывая в атмосферу более чем в два раза меньше диоксида углерода, чем США, при использовании природного газа (рис. 8).

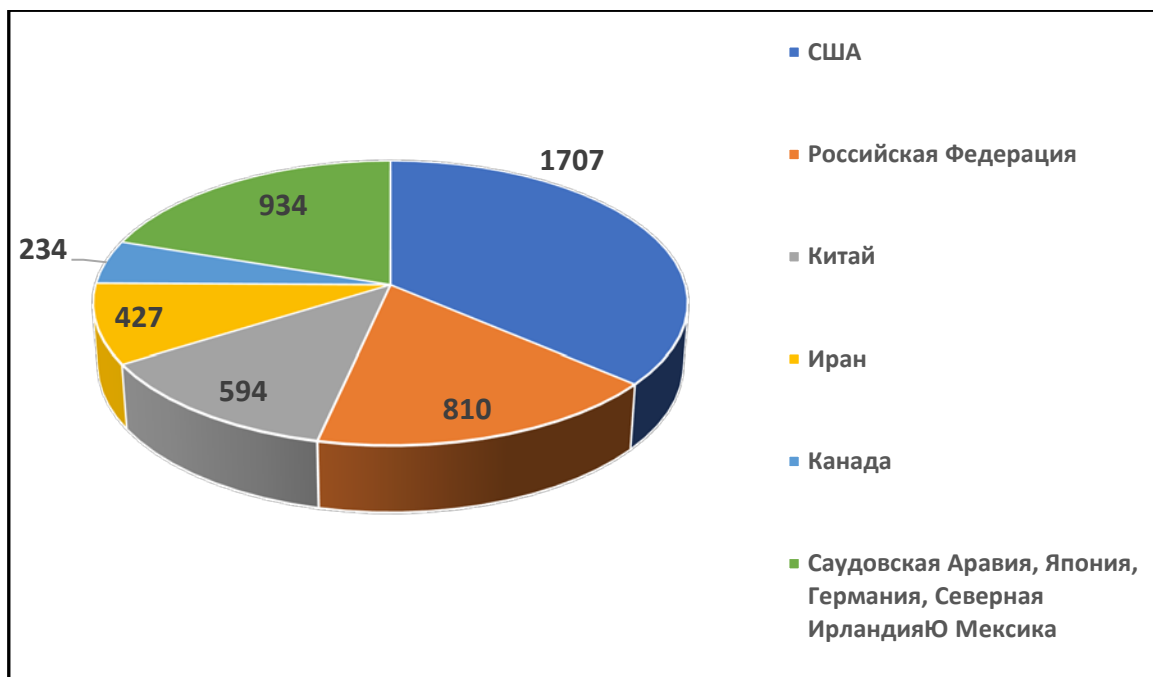


Рисунок 8. Выбросы CO₂ в 2019 году (Мт) при использовании природного газа в 10-ти странах, обеспечивающих максимальную эмиссию диоксида углерода (по данным [25]).

В отличие от ситуации в мире (рис. 3), в России эмиссия CO₂, начиная с 1990 года, значительно уменьшилась (рис. 9). Так, по данным [22] совокупная антропогенная эмиссия парниковых газов в Российской Федерации, без учета лесного хозяйства, землепользования и изменений в нем, составлял в 2017 г. 2155,5 млн. т CO₂-экв., что соответствует 67,6% совокупного выброса 1990 года. С учетом выбросов и абсорбции, связанных с лесным хозяйством, землепользованием и изменением в нем, совокупный выброс в 2017 г. составлял 1577,8 млн. т CO₂-экв. (50,7% от совокупного выброса 1990 года).

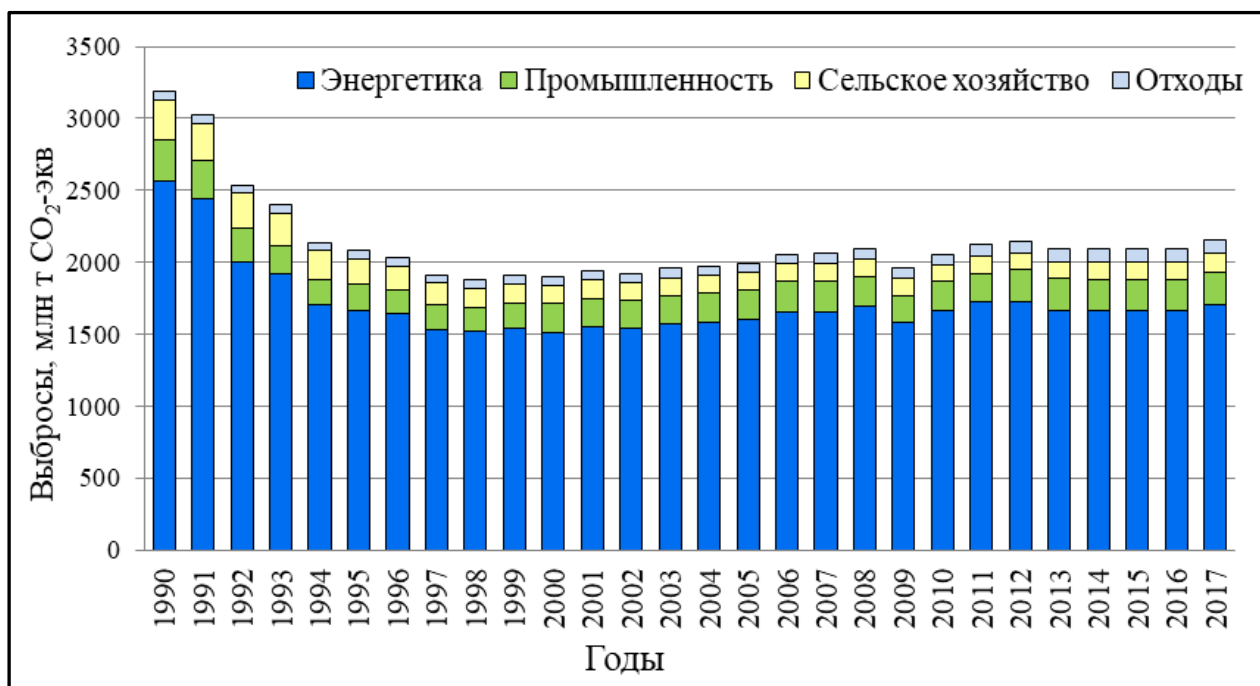


Рисунок 9. Динамика выбросов парниковых газов, без учета землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства (по данным [22])

Снижение эмиссии CO_2 в России обусловлено, с одной стороны, снижением числа работающих предприятий. С другой стороны, произошло значительное изменение доли потребления различных видов топлив, что отразилось на суммарной эмиссии CO_2 в России (рис. 10). В 2017 г. по сравнению с 1990 г. выросла доля выбросов диоксида углерода от сжигания природного газа, а доли выбросов, обусловленные сжиганием жидких и твердых топлив, сократились.

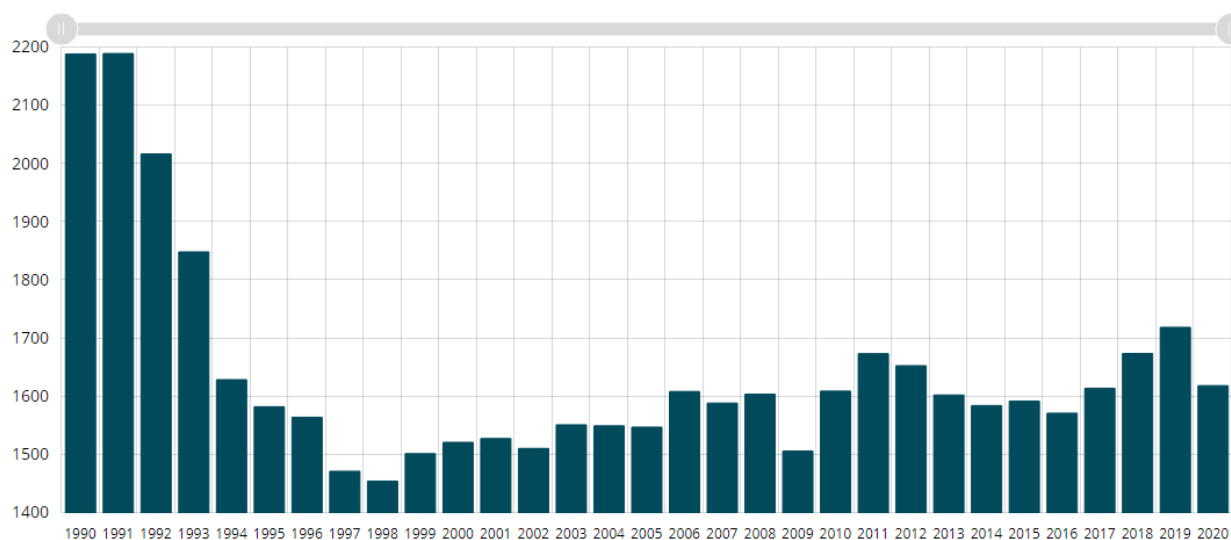


Рисунок 10. Снижение выбросов углекислого газа от сжигания различных видов топлива в России в период 1990-2020 гг., в Мт CO_2 (по данным [25])

Еще одним значимым источником эмиссии CO_2 являются лесные пожары, ежегодно поражающие леса на всех континентах планеты.

По данным [17] более половины лесов планеты распространены на территориях пяти государств мира – России, Бразилии, Канады, США и Китая (рис. 11).



Рисунок 11. Распределение площади лесов (в %) на территории различных государств мира [17].

К сожалению, площади горящих лесов ежегодно увеличиваются как в России (рис. 12), так и в мире. Калифорния, Португалия, Греция, Турция, Австралия, Испания – вот далеко не полный перечень территорий и стран, где катастрофические пожары за последние 10-12 лет уничтожили тысячи гектаров лесов, разрушили жилые и хозяйственные строения, унесли немало человеческих жизней.

Во время лесных пожаров в атмосферу выбрасывается большое количество CO_2 , примерно в 3 раза больше CO_2 , чем этот лес может поглотить. Кроме этого, в засушливые года много углекислого газа выделяется, когда горит торф, поскольку торфяники – большие «склады» углерода, и при их сгорании весь углерод попадает в атмосферу. На площади сгоревших лесов углекислый газ продолжает выделяться и после пожаров: погибшие, но не до конца сгоревшие дере-

вья начинают гнить, разлагаться и выделяют CO_2 . Причем, в зависимости от региона, уже после пожара углекислого газа может выработаться примерно столько же, а то и больше, чем в момент горения.

Пожары являются одной из наиболее значимых угроз для лесов и их биологического разнообразия. По данным космической съёмки, за последние 20 лет на территории России в среднем огонь охватывает 10 млн га лесов ежегодно, а в отдельные годы – до 18 млн га (в 2019 году – 16,5 млн га). При этом ежегодно пожар полностью уничтожает не менее 3 млн га лесов, что в 3 раза больше, чем площадь лесов, ежегодно используемых для заготовки древесины [26].

В Российской Федерации ежегодные выбросы CO_2 от природных пожаров в РФ составляют около 170 миллионов тонн, но это значение сильно варьирует и значительно увеличивается в определенные периоды. По данным [11] уже за первые 8 месяцев 2019 года в результате лесных пожаров в России было выброшено около 284 млн. тонн CO_2 .

Ученые программы Copernicus, основываясь на результатах спутниковых наблюдений, оценили выбросы газа от пожаров внутри Северного полярного круга в 244 мегатонны CO_2 с 1 января по 31 августа 2020 года. За весь 2019 год в том же районе была зарегистрирована 181 мегатонна [17].

По данным [27] «В целом, за 16 лет – с 2000 по 2016 гг. – человечество потеряло 9,3% всех девственных лесов Земли. Общие для планеты темпы утраты растут с каждым годом – 2,3% от общей потерянной площади пришлось на три последних года указанного периода. Сейчас средняя скорость утраты малонарушенных лесных территорий – 8,7 млн. гектаров в год. Это значит, что сегодня дикие леса исчезают на 20% быстрее, чем в 2000-2013 гг.».

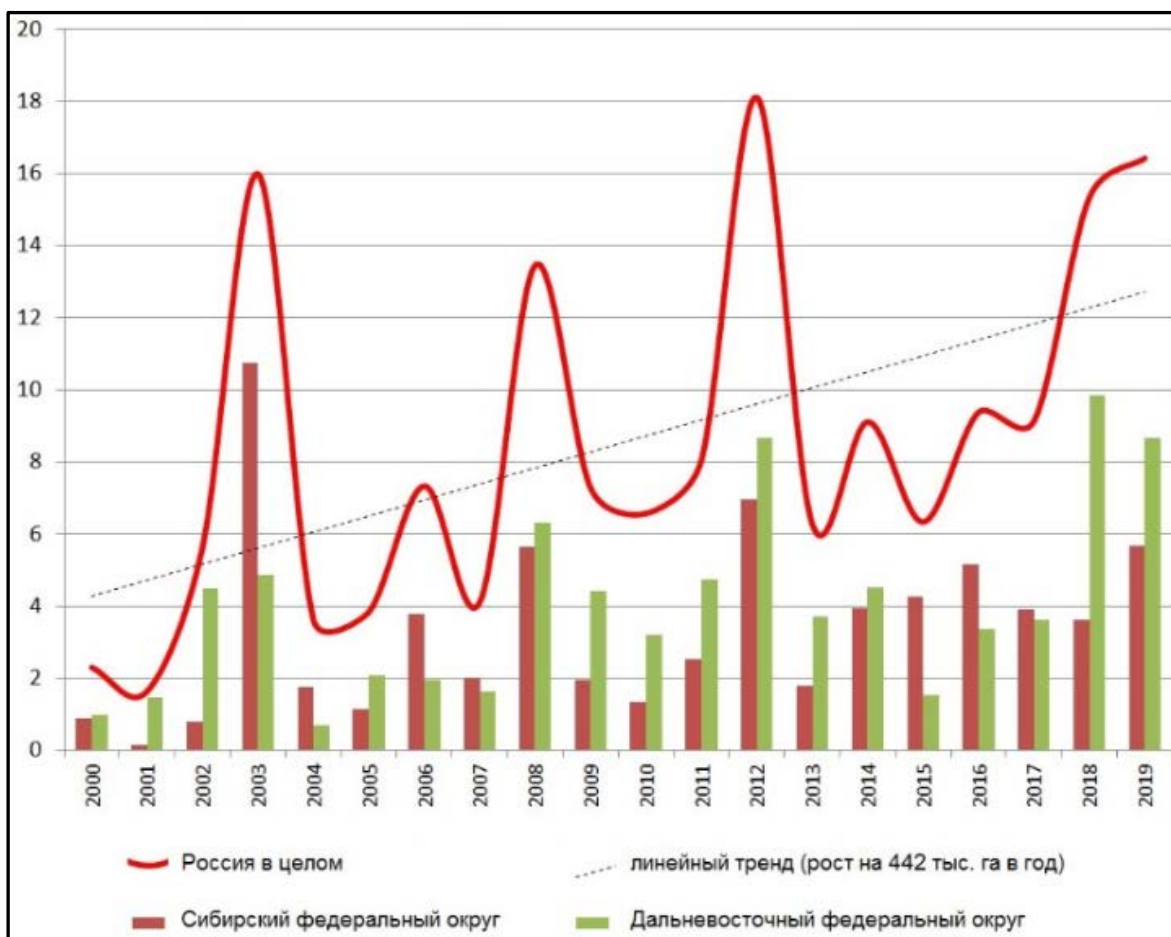


Рисунок 12. Динамика площадей лесных пожаров по данным системы ИСДМ-Рослесхоз за 2000-2019 годы, млн. га. [17]

За последнее десятилетие в России рекордным по пожарам стал 2012 год, когда от пожара погибло 17 млн гектаров леса. Однако на конец августа 2021 года до завершения пожароопасного сезона этот рекорд уже побит. Катастрофические пожары бушуют в Якутии, Иркутской области, на юге Урала и в других регионах, включая южные регионы России, где многочисленные пожары бывают в конце лета и начале осени. В России каждый год леса сгорает в три-четыре раза больше, чем вырубается – законно и незаконно.

Метан. Следующим парниковым газом, с увеличением содержания которого в атмосфере также связывается среднегодовой рост температуры на планете, является метан.

Метан (СН₄) представляет собой простейший углеводород, который является бесцветным газом без запаха. Этот газ нетоксичен и неопасен для здоровья. Он является основным компонентом природ-

ного газа (77-99%) и попутных нефтяных газов (31- 90%), присутствует в газах грязевых вулканов (более 95 %).

История открытия метана развивалась в несколько этапов. Началом послужило обнаружение метана в 1776 году в болотах озера Лаго-Маджоре на границе Италии и Швейцарии итальянским физиком Алессандро Вольта, который, собрав болотный газ, уже в 1778 году смог выделить из него чистый метан. Также Алессандро Вольта установил, что собранный им болотный газ отличается от водорода, который был открыт десятью годами ранее, поскольку при сгорании газа из болота образовывался углекислый газ, а не водяной пар, как при сгорании водорода. После этого французский химик Клод Бертолле в 1785 году выяснил, что болотный газ состоит из углерода и водорода, а английский физик и химик Джон Дальтон в 1805 году рассчитал соотношение атомов углерода и водорода в этом газе. Далее в 1808 г. метан был обнаружен в биогазе английским учёным-химиком Хэмфри Дэви, который в 1813 г. заключил из своих анализов, что рудничный газ представляет собой смесь метана CH_4 с небольшим содержанием азота N_2 и CO_2 и качественно тождественен по своему составу газу из болот [8].

В атмосфере метан был обнаружен Мигеотти в 1947 г. (Migeotte, 1948). Время жизни этого газа в атмосфере составляет 8-12 лет. Из нее он удаляется в результате нескольких процессов: окисления гидроксильными радикалами, стратосферного окисления, микробиологического поглощения в почвах и реакции с атомами хлора.

Концентрации метана в атмосфере невысоки и составляют 1,58–1,68 ppm, тем не менее по данным [19], его атмосферное содержание ежегодно увеличивается в среднем на 1 %, что вызвано дисбалансом между продукцией и окислением.

Концентрация метана в атмосфере была практически постоянной до XVII века, после чего начался ее медленный рост, который активизировался с 1950-х гг. С этого времени скорость прироста концентрации метана в атмосфере практически удвоилась. С начала эпохи промышленного развития концентрация метана в атмосфере воз-

росла с 700 до 1775 ppb [19], существенно меняясь в суточном и сезонном циклах.

По данным анализа пузырьков воздуха, запечатанного во льду Антарктиды и Гренландии, было изучено изменения содержания метана в атмосфере с 900-го до 2000 г. нашей эры (рисунок).

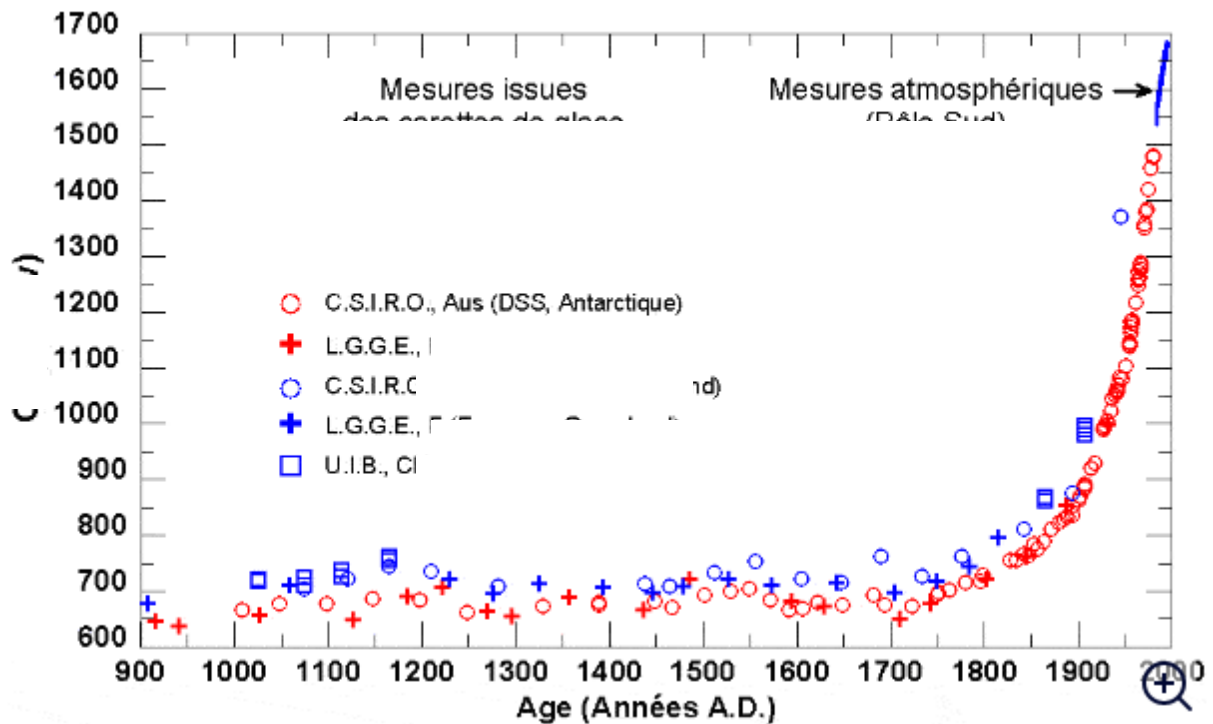


Рисунок 13. Изменения содержания метана в атмосфере с 900-го до 2000 г. Синяя линия в правой, самой верхней части графика соответствует измерениям в атмосфере на Северном полюсе. Ось Y – значения концентрации метана в миллионных частях (от 0,6 до 1,7 ppm). Красным цветом обозначены значения, полученные при изучении колонок льда в Антарктиде, синими – в Гренландии (рисунок с сайта www-lgge.ujf-grenoble.fr).

По данным [8] рост концентрации в атмосфере метана хорошо коррелируется с ростом концентраций других парниковых газов.

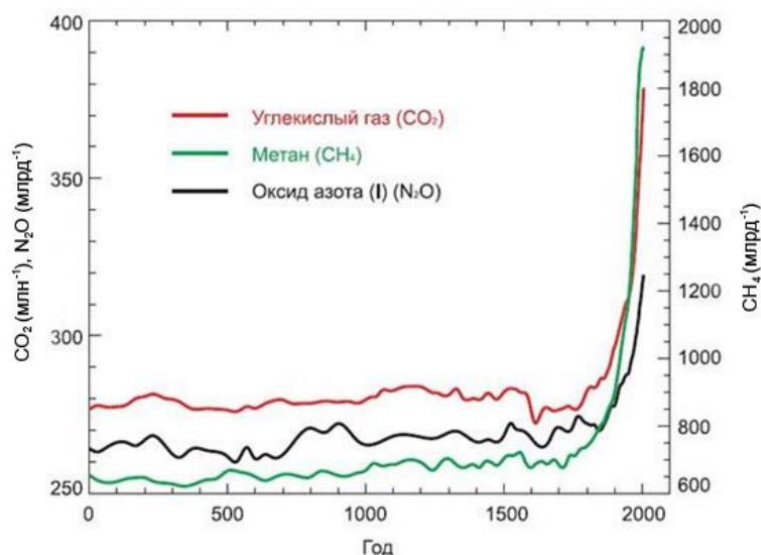


Рисунок 14. Соответствие роста в атмосфере концентраций углекислого газа, метана и оксида азота.

Периодические колебания содержания метана были зафиксированы различными исследователями. На рисунке 15 приведены колебания значений содержания метана в атмосфере в период между 1984 и 2014 гг., полученные НАСА. Как видно, наблюдаются периодические колебания прироста концентрации, что связано с одновременным влиянием многих факторов – и природных, и антропогенных.



Рисунок 15. Динамика ежегодного прироста концентрации метана в атмосфере в мире по данным NASA (ppb/год) [8]

Оценки степени влияния метана на парниковый эффект, полученные различными исследователями, значительно варьируют. Достаточно долго считалось, что парниковый эффект от метана превышает таковой от диоксида углерода в 25 раз. В настоящее время по-

явились исследования, которые позволяют увеличить эту цифру более чем в 3 раза. А именно, сегодня предполагается, что парниковый эффект от метана превосходит эффект от CO_2 в 84 раза. То есть прирост содержания метана на 1% дает вклад в парниковый эффект примерно в 84 раза более высокий, чем последствия от увеличения на 1% содержания двуокиси углерода. Несомненно, эта цифра еще будет меняться по мере накопления новых данных наблюдений.

Сегодня ученые пока не пришли к однозначному пониманию причин выявленного роста содержания метана в атмосфере. Есть предположения о том, что тропики стали более влажными, что привело к увеличению объемов выделяемых газов. Другие специалисты связывают рост содержания CH_4 с ростом населения и соответствующим увеличением масштабов земледелия и животноводства, третьи видят причину в бурном росте газодобычи в мире в целом и в возрастающих объемах гидроразрывов в газоносных пластах, что приводит к истечению метана в атмосферу по системам вновь образованных трещин в осадочном чехле. Одной из причин возрастания объемов метана в атмосфере называется активизация глубинных геологических процессов и дегазация CH_4 и других газов из мантии Земли.

Классифицируя метан по происхождению, следует выделить его следующие основные группы:

- метан бактериальный или микробный (продукт жизнедеятельности микроорганизмов, образуется в результате деятельности метаногенных бактерий в донных отложениях болот и других водоемов, в желудках насекомых и животных);
- метан биогенный (возникающий в результате химических трансформаций органического вещества, например, горения органики);
- метан абиогенный, глубинный (образованный в результате химических реакций неорганических соединений в условиях высоких давлений и температур в мантии Земли);
- термогенный (образованный в ходе термохимической трансформации рассеянного органического вещества в условиях высоких

давлений и температур при их погружении осадочных горных пород на глубины 3-10 и более километров).

Основные источники поступления метана в атмосферу Земли можно разделить на две большие группы – природные и антропогенные. Также небольшая доля источников может носить смешанный характер.

Оценки разных авторов по вкладу каждого из источников общую эмиссию метана в атмосферу, заметно различаются. При этом немаловажное значение имеет классификация источников и их состав, что и определяет значительные вариации выбросов CH_4 во времени. Следовательно, анализировать и учитывать значения эмиссии метана следует применительно к отдельным периодам времени, а также с учетом использованных методик определения эмиссии и степени охвата источников сеткой наблюдений.

Наибольший разброс глобальных оценок отмечен для природных источников CH_4 , в том числе таких важных для России, как заболоченные территории и арктические моря. Антропогенные источники изучены несколько лучше. Доминирующим естественным источником метана в настоящее время являются заболоченные территории. Они дают от 25 до 32% (данные 2000-2012 гг.) от всех его выбросов и при этом отличаются высокой временной изменчивостью и зависимостью от климатических факторов (обратная связь с климатом). Ежегодно из естественных источников в атмосферу попадает, по разным оценкам, от 218 до 384 Мт CH_4 (табл. 6). Наиболее интенсивным является поток CH_4 с поверхности заболоченных территорий, составляющий до 80% [8].

Таблица 6.

Источники атмосферного метана

Источник	Годовая эмиссия CH_4 , млн.т
Биогенные источники метана	302-665
Болота	120-200
Термиты	25-150
Океаны	1-20

Тундра	1-5
Рисовые поля	70-120
Животноводство	80-100
Полигоны ТБО	5-70
Абиогенные источники метана	48-155
Метановые газогидраты	2-4
Вулканы	0,5
Угольные разработки	10-35

Источник: Barber R.D. and Ferry J.G. Methanogenesis // Encyclopedia of life science. Nature Publishing Group, 2001 (www.els.net)).

На долю антропогенных выбросов приходится по разным оценкам от 49 до 61% глобального выброса CH_4 (данные 2000-2012 гг.). В этом глобальном выбросе часть, связанная с добычей и использованием ископаемого топлива, составляет 29-34%, природного газа – менее 10%.

В общей доле антропогенных источников метана доминируют сельское хозяйство, энергетика (прежде всего нефтегазовая отрасль) и отрасль обращения с отходами. Согласно предварительной оценке международного энергетического агентства (МЭА), выбросы метана в нефтегазовой отрасли в 2019 году составили около 81,5 млн т. Это соответствует приблизительно 14% глобальных выбросов и 24% антропогенных выбросов данного парникового газа.

Выбросы метана в нефтегазовой отрасли возникают практически на всех стадиях технологической цепи, начиная от бурения первых разведочных скважин и заканчивая транспортировкой нефти и газа и их распределением. При этом выбросы могут быть организованные, неорганизованные и обусловленные сжиганием в факелах (табл. 7, 8). Организованные выбросы метана обычно продиктованы соображениями безопасности, неорганизованные являются следствием утечек и неисправностей [3].

Таблица 7.

Структура выбросов метана в нефтегазовой отрасли за 2019 год в млн.т

Источник	Газ		Нефть		
	Организованные	Неорганизованные	Организованные	Неорганизованные	Сжигание в факелах
Традиционная добыча на суше	11,5	6,6	26,3	2,1	2,3
Морская добыча	1,7	1,0	3,7	0,3	0,8
Нетрадиционная добыча	4,7	2,7	1,9	0,2	0,2
Распределение	5,5	9,9	0,2	0,0	0,0
Всего	23,3	20,1	32,1	2,6	3,3

Источник: IEA Methane Tracker 2020

Таблица 8.

Оценка эмиссии метана (природного газа) в атмосферу в результате деятельности нефтегазовой промышленности ([19])

Основные причины потерь	Потери, млн.т в год
Геолого-разведочные работы	15-45
Потери попутного нефтяного газа	10
Потери природного газа в ходе транспортировки (трубопроводы)	644-711
Потери природного газа при подземном хранении	24
Суммарные потери	693-790

В сельском хозяйстве выброс метана производится травоядными животными вследствие пищеварительного процесса, в ходе которого микроорганизмы расщепляют углеводы на простые молекулы для их

последующего впитывания в кровотоки. Количество высвобождаемого метана зависит от типа пищеварительного тракта, возраста и массы животного, а также от качества и количества потребляемого корма. Например, крупный рогатый скот, овцы являются основным источником метана; кроме того, небольшое количество метана производится нежвачными животными.

Водяной пар. По оценкам целого ряда специалистов именно водяной пар, относительное содержание которого в атмосфере составляет около 0,3%. является основным парниковым газом, который отвечает за 70% парникового эффекта [1, 16].

Во второй половине XX века количество водяного пара в стратосфере показало тенденцию к суммарному увеличению, но с 2000 г. наблюдались периоды как его роста, так и уменьшения. В настоящее время нет полного понимания всех механизмов, вызывающих изменения содержания водяного пара в стратосфере [22]. Это связано с тем, что невозможно напрямую контролировать количество данного парникового газа атмосфере, поскольку вода покрывает 71 % поверхности Земли и находится на нашей планете повсеместно. Одновременно с этим необходимо учитывать тот факт, что глобальная сеть метеорологических станций охватывает лишь 47% поверхности Земли и имеет ошибку измерения, значительно превосходящую величину «глобального потепления».

Основным природным источником водяного пара является Мировой океан. Основными антропогенными источниками H_2O в атмосфере являются градирни электростанций.

Как известно, список парниковых газов, подлежащих ограничению в рамках Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (1992) определен в Приложении "А" к Киотскому протоколу (подписан в Киото (Япония) в декабре 1997 года 159 государствами) и включает двуокись углерода (CO_2) и метан (CH_4), закись азота (N_2O), перфторуглероды (ПФУ), гидрофторуглероды (ГФУ) и гексафторид серы (SF_6).

Парадоксально, но водяной пар исключен из данного рассмотрения, так как нет данных о росте его концентрации в атмосфере, что само по себе противоречит утверждению о росте среднегодовой температуры на планете. Действительно, наблюдающийся рост температуры неизменно должен был бы привести к закономерному объему испаряющейся воды с поверхности Земли и росту содержания водяного пара в околоземном пространстве. Отсутствие подтверждений этому предположению свидетельствует о слабой изученности природных процессов, влияющих на изменение климата, и заметно снижают долю накала страстей вокруг «приближающейся климатической катастрофы».

Закись азота. Еще одним газом, парниковый эффект которого в 300 раз выше, чем у углекислого газа, является закись азота (он же оксид азота, N_2O). Основные источники поступления этого газа в атмосферу связаны с сельским хозяйством, промышленностью, сжиганием ископаемого топлива, сбором и хранением отходов, а также с очисткой сточных вод. Вклад закиси азота в создание парникового эффекта составляет не более 6%, однако учет его высокой парниковой активности диктует необходимость поиска технологических решений по снижению его выбросов в атмосферу.

Гидрофторуглероды (ГФУ). Это органические соединения, содержащие фтор и атомы водорода, и представляющие собой наиболее распространенный тип фторорганических соединений. Большинство ГФУ при комнатной температуре и давлении являются газами. Они часто используются в системах кондиционирования воздуха и в качестве хладагентов. Их атмосферные концентрации и вклад в антропогенные выбросы парниковых газов быстро увеличиваются, вызывая международную озабоченность их радиационным воздействием. ГФУ начали применять вместо веществ, которые вредили озоновому слою, еще до того, как предполагаемое глобальное потепление было связано с человеческой деятельностью.

По данным экологической организации Гринпис, компании Bosch-Siemens, Whirlpool, Panasonic, Samsung, Miele и Ben & Jerry's уже применяют или испытывают технологии охлаждения без использования ГФУ. Тем не менее 80% новых автомобилей комплектуются сегодня кондиционерами, применяющими гидрофторуглероды.

Перфторуглероды – это углеводородные соединения, в которых все атомы водорода замещены атомами фтора. Перфторуглеродные соединения обладают способностью растворять как кислород, так и углекислый газ, они очень инертны, бесцветны, прозрачны, не могут нанести повреждения ткани лёгких и не усваиваются организмом. Основными источниками эмиссии этих газов являются производство алюминия, электроники и растворителей. При алюминиевой плавке выбросы этих газов возникают в электрической дуге или при так называемых "анодных эффектах".

Гексафторид серы (SF_6). Это еще один опасный парниковый газ, который климатологи выделяют в число наиболее вредных химических соединений, созданных человеком. Данный синтетический газ – гексафторид серы или SF_6 – широко применяется в электротехнической промышленности для предотвращения коротких замыканий и несчастных случаев. По данным ВВС, утечки этого газа в атмосферу в Европе в течение 2017 г. были эквивалентны по своему воздействию на окружающую среду выходу на дорогу дополнительных 1,3 млн автомобилей с двигателем внутреннего сгорания [12].

Гексафторид серы – это дешевый и негорючий синтетический газ без цвета и запаха. Он является чрезвычайно эффективным изоляционным материалом для электрических установок и широко используется в электроэнергетике: от крупных электростанций до ветровых турбин, электроподстанций в городах и поселках, предотвращая аварии и пожары. Однако SF_6 чрезвычайно опасен в аспекте климатических изменений, связанных с глобальным потеплением. По своему парниковому эффекту он в 23,5 тыс. раз превышает парниковый эффект аналогичного объема выбросов углекислого газа [12].

Влияние рассмотренных парниковых газов на потепление климата различно. Параметр, который в численном выражении определяет разогревающее (радиационное) воздействие молекулы определенного парникового газа относительно радиационного воздействия молекулы углекислого газа, получил название потенциала глобального потепления (ПГП). В частности, влияние на парниковый эффект 1 кг метана эквивалентно влиянию 21 кг углекислого газа (или 84 – по другим оценкам, если брать 20-летний период). ПГП закиси азота составляет 310. Гидрофторуглероды имеют исключительно высокий ПГП, который для различных соединений варьирует в пределах 140-11700. Для наиболее распространенных и широко применяемых в промышленности перфторуглеродов CF_4 и C_2F_6 ПГП соответственно равен 6500 и 9200. Для гексафторида серы эта величина возрастает до 23900.

Гигантские значения ПГП для CF_4 и C_2F_6 приводят к тому, что на алюминиевых заводах в структуре выбросов парниковых газов основной вред атмосфере наносят именно перфторуглероды, несмотря на колоссальную эмиссию CO_2 , образующегося при сгорании угольных анодов.

Таким образом, суммируя вышеизложенное, можно заключить следующее.

Усиление парникового эффекта обусловлено эмиссией парниковых газов из антропогенных источников, которые возникают:

- при различных производственных процессах;
- при добыче полезных ископаемых и, в первую очередь, – при добыче горючих полезных ископаемых
 - на угольных электростанциях;
 - при использовании автомобилей (выхлопы);
 - при ведении экстенсивного сельского хозяйства;
 - при эксплуатации зданий (отопление);
 - во время лесных пожаров;
 - при вырубке лесов.

Наибольший парниковый эффект вызывает сжигание углеродсодержащего топлива, добыча и транспортировка нефти, газа, угля,

производство сырья (цемент, сталь и другие металлы), пищевая промышленность, захоронение и сжигание отходов. На эти виды деятельности цивилизации приходится примерно 70% всех глобальных антропогенных выбросов.

2. Международные соглашения и экономические механизмы в регулировании выбросов парниковых газов

Уже в середине 1980-х гг., понимая неизбежность негативных последствий антропогенной деятельности человека и нарушения им равновесия в климатических системах, международная общественность начала придавать проблеме изменения климата международный и политический статус. С целью подготовки точной и своевременной аналитической информации об ожидаемых последствиях глобального потепления была учреждена межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Уже в своем первом докладе, который был подготовлен в 1990 г., МГЭИК указала, что «рост концентрации двуокиси углерода и других парниковых газов в атмосфере вызван человеческой деятельностью и может привести к повышению температуры поверхности земли в масштабах всей планеты с соответствующими изменениями в климатической системе».

В мае 1992 г. правительствами более чем 150 стран была одобрена Рамочная Конвенция ООН по изменению климата (РКИК), подписание которой состоялось в июне 1992 г. на конференции ООН по окружающей среде и развитию в городе Рио-де-Жанейро. В марте 1994 г. документ вступил в силу.

Цель РКИК ООН сводится к достижению стабилизации парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему. Тем не менее конвенция не содержит конкретных указаний по численным показателям «опасного уровня антропогенного воздействия», поскольку, как показало время, определение понятия этого уровня является сложным вопросом, как в политическом, так и с социально-экономическом аспектах, включая научное обоснование, основанное на достоверных фактических данных многолетних наблюдений и исследований.

Конвенция провозглашает принцип «общей, но дифференцированной» ответственности стран в решении проблем изменения климата. Как известно, главными загрязнителями атмосферы (и не только!) планеты являются промышленно развитые страны, достигшие высокого уровня ВВП. И именно они в настоящее время обладают высоким потенциалом технологических и финансовых ресурсов для проведения экологических мероприятий. Казалось бы, принцип «дифференцированной ответственности» обязывает промышленно развитые страны стать лидерами в реализации программ и технологий, снижающих эмиссию парниковых газов в долгосрочной перспективе, а также обеспечить технологическую и материальную поддержку развивающимся странам в решении экологических проблем.

Поскольку сама РКИК ООН в значительной мере является лишь общим, рамочным документом, обязательства развитых стран и стран с переходной экономикой по ограничению их годовых выбросов парниковых газов по сравнению с уровнями 1990 г. были определены Киотским протоколом (1997).

2.1. Киотский протокол

Киотский протокол явился дополнительным документом к Рамочной конвенции ООН об изменении и был подписан 159 государствами в Киото (Япония) в декабре 1997 года. Для подписания Киотский протокол был открыт 16 марта 1998 года, но вступил в силу только 16 февраля 2005 года после того, как его ратифицировали страны, суммарная квота которых по выбросам ПГ превышала 55% (по состоянию на 1990 год). Подписавшие его страны договорились о необходимости сокращения выбросов парниковых газов, которые вызывают глобальное потепление.

Протокол был разработан для апробации механизмов международного сотрудничества в борьбе с изменением климата, для выработки совместных решений, скоординированных стратегий по со-

кращению выбросов ПГ и поддержке мер в области адаптации к изменениям климата.

Согласно Протоколу были определены следующие нормы снижения выбросов:

- Евросоюз – на 8%,
- Япония и Канада – на 6%,
- Страны Восточной Европы и Прибалтика – в среднем на 8%,
- Россия и Украина – сохранение среднегодовых выбросов в 2008-2012 годах на уровне 1990 года.

При этом, страны ЕС в одностороннем порядке обязались сократить выбросы ПГ к 2020 году на 20% [7].

Несмотря на то, что многие страны, вошедшие в Киотский протокол, выполнили свои обязательства (в том числе и Россия), к ощутимому снижению планетарного объема антропогенных выбросов это не привело. Возможно, это было связано с выходом из Киотского протокола ряда развитых стран, а также с ростом эмиссии парниковых газов в развивающихся странах, в том числе в Индии и Китае. В частности, развивающиеся страны, а также Китай и Индия обязательств на себя не брали. Соединенные Штаты Америки заявили о неучастии в протоколе до 2013 года.

В феврале 2015 года по итогам десятилетия действия Киотского протокола в ООН объявили о сокращении выбросов ПГ более чем на 20% странами, которые взяли на себя обязательства в рамках этого договора и коллективно перевыполнили первоначальные цели.

В ООН также отметили, что полученные результаты – свидетельство важности международного сотрудничества в сфере изменения климата. Однако, не только это явилось ключевым моментом, определившим начало активного снижения выбросов ПГ. Уменьшение выбросов стало результатом грамотной и действенной экономической политики, обусловившей разработку и введение в действие нового механизма стимулирования регулирования эмиссии ПГ. Этим механизмом явились углеродный налог и система торговли квотами на выбросы ПГ в атмосферу.

2.2. Экономические механизмы регулирования выбросов ПГ

Углеродный налог представляет собой плату, которая взимается с компаний, сжигающих при производстве углеродное топливо (уголь, нефть, природный газ). Поскольку при сжигании такого вида топлива образуется углекислый газ, который считается виновником глобального потепления, углеродный налог является способом заставить потребителей ископаемого углеродсодержащего топлива платить за климатический ущерб.

Впервые необходимость применения эко налогов подтвердили в 1973 году в первой Программе действий Европейского союза по охране окружающей среды.

На сегодня в странах ЕС углеродное экономическое стимулирование введено в Финляндии (1990 г.); Швеции и Норвегии (1991 г.); Дании (1992 г.); Польше (1993 г.); Латвии (1995 г.); Словении, Австрии и Нидерландах (1996 г., а по другим данным 1990 г. – налог на углерод/энергию в пропорции 50:50); Германии и Италии (1999); Эстонии (2000 г.); Великобритании (2001 г.); Швейцарии, Лихтенштейне и Хорватии (2008 г.); Ирландии и Исландии (2010 г.); Украине (2011 г.); Франции (2014 г.); Португалии (2015 г.). Кроме того, налог на углерод введен в Мексике (2014 г.), в Японии (2012 г.), в канадских провинциях Квебек (2007 г.), Британская Колумбия (2008 г.) и Альберта (2017), в Чили, в Колумбии и в ЮАР (2017).

О размерах углеродных и экологических налогов можно судить по тому факту, что, к примеру, В ЕС в 2015 г. сборы от экологических налогов составили: 360 млрд евро или 2,4% ВВП, или 6,3% доходов бюджета. На долю налогов на энергию приходится почти 77% всех экологических налогов (по разным странам от 51% до 96%), или 1,9% ВВП и 4,7% доходов бюджета.

В настоящее время экономисты сходятся во мнении, что налог на выбросы ПГ является самым эффективным механизмом снижения эмиссии CO₂. Однако, разный уровень экономического развития

стран обуславливает значительное расхождение величин принятых у них налогов – от менее 1\$ до 121\$ и выше. В основе определения величины налога лежит расчет социальной стоимости диоксида углерода.

Альтернативой по отношению к налоговым мерам и энергетической политике в достижении результативности по выполнению количественных обязательств явилась торговля квотами на выбросы CO₂, которая заметно отличается от других экономических механизмов и по сравнению с налоговыми мерами считается более эффективным способом сокращения выбросов. Говоря о системе торговли квотами на выбросы ПГ, необходимо отметить следующее. Ее суть регламентируется статьей 3 Киотского протокола и заключается в том, что «любые единицы сокращения выбросов или любая часть установленного количества, которые какая-либо Сторона передает другой Стороне в соответствии с положениями статьи 6 и статьи 17, вычитаются из установленного количества передающей Стороны», и наоборот «любые сертифицированные единицы сокращения выбросов, которые какая-либо Сторона приобретает у другой Стороны в соответствии с положениями статьи 13, прибавляются к установленному количеству приобретающей Стороны». Иными словами, добиваясь снижения эмиссии на своих технологических линиях, предприятия получили возможность реализации сэкономленных объемов выбросов CO₂.

Основным принципом системы торговли квотами (СТВ) является принцип «cap and trade» («ограничения и торговли»). Правительство государства постепенно ограничивает суммарный объём выбросов CO₂ по всем источникам (производственным компаниям), а каждая компания, обладает разрешением на выбросы определенного объема CO₂, которые они осуществляют. При этом компании могут получить разрешения на выбросы бесплатно либо купить их у государства, а также торговать ими с другими компаниями.

Выбор между СТВ и налогом на углерод определяется стратегическими решениями индивидуальных государств (провинций, городов, областей) и от их конкретных обстоятельств и экономических предпосылок. Кроме этого, они не являются взаимоисключающими, – в нескольких юрисдикциях налог на углерод и СТВ действуют одно-

временно, охватывая различные секторы. Некоторые юрисдикции изначально внедряют налог на углерод как шаг к последующему введению СТВ.

2.3. Опыт скандинавских стран в развитии системы регулирования выбросов ПГ и снижения эмиссии CO₂

Для понимания того, как работают различные экономические механизмы, стимулирующие снижение эмиссии CO₂ и других ПГ, целесообразно рассмотреть опыт скандинавских стран по использованию углеродного налога.

Скандинавские страны поставили перед собой амбициозные цели в области сохранения климата и электроэнергетическая система является ключевой инфраструктурой в достижении поставленных целей. Предполагается, что энергосистема скандинавских стран, которая уже сейчас претерпевает беспрецедентные изменения, будет продолжать быстро меняться и в долгосрочной перспективе (на период до 2040 г.). Процесс декарбонизации энергетики, быстрое развитие ВИЭ-генерации и поэтапный вывод из эксплуатации традиционных видов генерации привел к изменениям в структуре генерирующих мощностей и сделал энергосистему более зависимой от погодных условий. Кроме того, ожидается дальнейший рост электропотребления в связи с возникновением новых видов потребителей электроэнергии и нарушение баланса спроса и предложения (в рамках существующих торговых зон), обусловленное тем, что новые объекты генерации будут строиться на более удаленном расстоянии от центров потребления.

Для достижения национальных целей по сокращению выбросов CO₂ предлагается объединить усилия в таких секторах экономики, как теплоснабжение, транспорт, газо- и электроснабжение. При этом развитие соответствующих технологий часто не успевает за изменениями в структуре генерации. Поэтому для более четкого понимания

потребностей, технических условий и взаимосвязей в будущей энергосистеме необходимо сформировать общий взгляд скандинавских стран на развитие энергосистемы. Для начала принято решение разработать общий для скандинавских стран сценарий развития энергосистем, получивший название «Климатически нейтральные скандинавские страны» («Climate neutral Nordics»), в котором будут определены этапы развития декарбонизированной энергосистемы. После подготовки «Climate neutral Nordics» планируется провести анализ потребностей будущей энергосистемы, исследование приоритетных областей развития и обновить результаты проведенных ранее двусторонних исследований в данном направлении.

Кроме того, для реализаций целей Парижского соглашения, необходимо внедрять технологии улавливания и захоронения углерода, что позволяет быстро декарбонизировать энергетическую инфраструктуру, не перестраивая ее заново.

Норвегия. Евросоюз ставит цель достичь углеродной нейтральности к 2050 году, а Норвегия к этому же году стремится к ‘нулевым выбросам’. Норвегия, входящая в Европейскую Экономическую зону, поддерживает ‘Европейскую зеленую сделку’ развивая финансовые планы и законодательство, а также внедряя решения по снижению выбросов.

Общий центр по хранению углерода

Carbon capture and storage (CCS) или улавливание и хранение углерода будет являться основным элементом углеродной нейтральности к 2050 году. Согласно поправке 2009 года к London Protocol (Protocol on the Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter) разрешена трансграничная перевозка CO₂ для хранения. Также согласно статье 6 данного протокола может возникнуть необходимость экспорта CO₂ когда сторона не имеет возможности хранения, но желает использовать carbon capture and storage для снижения выбросов. Возможности Норвегии для хранения CO₂ около 80 миллиардов тонн, или в 2 раза больше чем ежегодные

мировые выбросы CO₂. Создание межнационального центра по хранению углерода в Северном море будет необходимым для достижения углеродной нейтральности 2050. Проект ‘Северное сияние’ самый современный проект, который ставит целью развить с судов общеевропейскую сеть транспортировки и хранения CO₂. Компания ‘Северное сияние’ получит уловленный CO₂, доставленный на корабле в муниципалитет Ойгарден на западном побережье Норвегии. Здесь газ будет временно храниться перед отправкой по трубопроводу к месту хранения на континентальном шельфе. На площадке хранения CO₂ закачивается в герметичный резервуар для постоянного хранения на глубине 2600 метров ниже морского дна.

Лицензиат Equinor оценил общий объем инвестиций по плану развития примерно в 700 миллионов долларов, а годовые операционные расходы – примерно в 43,6 миллиона долларов. Утвержденный проект может хранить 1,5 миллиона тонн CO₂ в год, планируемый период эксплуатации – 25 лет. Северное сияние будет строиться и эксплуатироваться компанией Northen Lingsh JV DA при поддержке Equinor, Shell, Total. Утвержденный план разработки включает одну нагнетательную скважину.

Рассматриваются и другие проекты как Heidelberg Cement, принадлежащий Norcem.

Углеродный налог в Норвегии

Углеродный налог (Carbon tax) и Закон о торговле выбросами парниковых газов (Greenhouse Gas Emission Trading Act) являются основными инструментами климатической политики для сокращения выбросов парниковых газов.

Норвегия была одной из первых стран в мире принявшая углеродный налог в 1991 году. Он налагался на сжигание газа, нефти, дизельного топлива. В Белой книге (White Paper Climate Action Plan 2021-2030) Норвежское Правительство предлагает постепенно повысить углеродный налог с 550 крон (55\$) до 2000 крон (190\$) за тонну CO₂ к 2030 году. Это поможет сократить выбросы на 50-55 % к 2030 году согласно Парижскому соглашению. Норвежский Закон о торгов-

ле выбросами парниковых газов (Norway's Greenhouse Gas Emission Trading Act) вступил в силу в 2005 году. Это означает что Норвежские установки в нефтяной промышленности и других отраслях, к которым применяется система, подчиняются тем же правилам торговли выбросами, что и в странах Европейского Союза.

Европейская система торговли квотами (EU ETS) является системой Ограничения торговли (cap and trade) которая устанавливает *cap* или лимит на общие выбросы парниковых газов. Данный лимит из года в год уменьшается.

Швеция. Углеродный налог в Швеции был введен в 1991 г. и до сих пор является основой политики по борьбе с изменением климата, покрывая около 40% выбросов парниковых газов в стране. В Швеции самый высокий уровень углеродного налога в мире – в 2020 г. он составил 1190 шведских крон (\$138) за тонну выбросов.

Первоначальная ставка налога в стране была равна 27 евро/тCO₂ (36,8 долл.), со временем плавно повышалась отчасти за счет снижения налога на энергию и достигла 138 долл/тCO₂. Следует отметить, что налог на углерод в Швеции был введен с учетом длительного опыта сбора налогов за пользование энергией. История введения налога началась с 1924 года, когда впервые был введен налог на бензин. Затем в 1937 г. Он был введен на дизельное топливо, в 1957 г. – распространен на все нефтепродукты и уголь, в 1964 г. – на сжиженный нефтяной газ, а в 1985 г. – на природный газ. Ставки налога на энергию постоянно росли и достигли максимума в 1990 г. В 90-х годах Швеция ввела три дополнительных налога: на выбросы углерода, серы и азота, снизив при этом ставки налога на энергию, а также ставки налогов на доходы домохозяйств и нормативы социальных отчислений.

Введение углеродного налога стало частью масштабной налоговой реформы, в ходе которой были также введены меры государственной поддержки домохозяйств со средним и низким уровнем дохода, чтобы компенсировать повышение стоимости энергоносителей в связи с введением углеродного налога. С 1990 по 2007 г. ВВП Шве-

ции увеличился на 78%, а выбросы парниковых газов за тот же период сократились на 26%. К 2045 г. Швеция планирует снизить до нуля чистые выбросы парниковых газов в атмосферу.

После того, как углеродный налог стал налагаться на транспортные топлива, выбросы CO₂ стали снижаться на 11% в год. В случае повышения налога повышается цена на топлива, это влияет на население, проживающее в отдаленных частях страны.

Также Швеция ставит цель полной декарбонизации энергетического сектора. При реализации данного сценария доля возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии достигнет 100% к 2040 году. Возможность энергосистемы, работающей на основе исключительно возобновляемых источников энергии, не подвергается сомнению. В Швеции ожидается значительное увеличение выработки как ветровой, так и солнечной энергии, а также сокращение общего предложения и спроса на электроэнергию в стране в период 2019-2022 годов.

В 2020 году в Швеции был открыт первый в мире металлургический завод, работающий на «зеленом» водороде – без использования ископаемого топлива и без выбросов CO₂. Проект получил название HYBRIT – Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology. Его придумали и реализовали три шведских предприятия – металлургическая компания SSAB, энергетическая компания Vattenfall и горнорудное предприятие LKAB. Их идея во многом похожа на экологические устремления автомобильных концернов. Создатели HYBRIT хотят получить углеродно-нейтральный производственный цикл – от сырья до готовой металлургической продукции. «Зеленый» водород будут использовать для снижения содержания кислорода в железорудном сырье, заменив им традиционные уголь и кокс. В результате вместо опасного для экологии CO₂ в процессе производства будет выделяться обычная H₂O. Однако в HYBRIT не скрывают, что в процессе реализации проекта им пришлось столкнуться с двумя серьезными проблемами. Во-первых, еще предстоит придумать, как эффективно использовать 100% водород в промышленных масштабах. Во-вторых,

пока нет ответа на вопрос энергоэффективного производства водорода – оно должно быть экономически оправданным.

Финляндия. Налог на углерод был одной из первых мер борьбы с изменением климата и снижением выбросов. Финляндия была первой страной, которая приняла углеродный налог в 1990 году и наложила его на легкое нефтяное топливо, мазут, уголь и натуральный газ.

Одной из основных стратегических задач правительства был объявлен план сделать страну «углеродно-нейтральной» к 2035 году, т.е. к данному сроку полностью прекратить выбросы парниковых газов. При этом особенно отмечается, что определяющая роль в решении этой задачи отводится атомной энергетике.

В программном заявлении правительства констатируется, что Финляндия уже сократила выбросы на 21% по сравнению с 1990 годом, и к 2020 году выйдет на установленные Евросоюзом целевые показатели. Но для того, чтобы достигнуть цели, установленной Парижским соглашением по борьбе с изменением климата – не допустить повышения глобальной температуры воздуха более чем на 1,5 градуса – необходимо дальнейшее сокращение выбросов.

Правительство объявило о намерении внести коррективы в национальное законодательство о климате, установив целевые показатели на 2025, 2030 и 2040 годы. При правительстве будет создана специальная рабочая группа для выработки национальной климатической политики.

На правительственном уровне уже принято решение к маю 2029 года полностью прекратить использование угля в энергетике, а в начале 2030-х годов прекратить использование торфа, а также использование нефти для отопления.

Выбывающие генерирующие мощности планируется компенсировать в первую очередь за счёт возобновляемой энергетики. Что касается атомной энергетики, то правительство заявило о готовности «продлить разрешение на эксплуатацию существующих реакторов

при наличии положительного заключения Управления по радиационной и ядерной безопасности».

Дания. Углеродный налог в Дании был принят в 1990 году. Его целью было не повышение цен на энергию, а стимулирование меньше использовать технологии выделяющие CO₂.

Правительство и парламент Дании подписали Климатическое соглашение (Klimaaftale), целью которого является сокращение выбросов CO₂ на 3,4 млн тонн к 2030 году – на 70% от уровня 1990 года. В рамках сделки принято решение о создании двух морских ветроэнергетических островов-центров общей мощностью 5 ГВт. В мае 2020 года правительство обнародовало планы строительства двух морских ветроэнергетических островов в Балтийском и Северном морях к 2030 году. Один из двух центров мощностью 2 ГВт будет построен на датском балтийском острове Борнхольм, а второй будет расположен на искусственном острове в Северном море. Первоначально планировалось, что суммарная мощность ветрогенерации вокруг этих островов составит 4 ГВт, однако в итоге мощность проекта в Северном море была увеличена с двух до трёх гигаватт.

Кроме того, ведущие датские компании A.P. Moller-Maersk, DSV Panalpina, DFDS, SAS, Ørsted совместно с аэропортами Копенгагена планируют построить в Дании завод по производству экологически чистого топлива. Объект расположится в районе Копенгагена и будет поставлять возобновляемое топливо для морского, воздушного и автомобильного транспорта.

После полного запуска мощностей к 2030 году, предприятие сможет ежегодно производить более 250 тыс. тонн экологически чистого топлива. Планируется, что общая мощность электролизера для выработки водорода составит 1,3 ГВт, что сделает завод одним из крупнейших в мире объектов такого типа. По предварительным подсчетам, производимое экологичное топливо позволит сократить ежегодные выбросы углерода на 850 тыс. тонн.

Исландия. В настоящее время Европа является лидером по части реализации климатических инициатив. Рейтинг возглавляет Исландия (страна с большими успехами в области производства экологически чистой энергии и технологий улавливания углекислого газа), далее следуют Дания, Норвегия.

В основу рейтинга легли пять факторов – выбросы углекислого газа, доля возобновляемых источников в энергопотреблении, «зеленые» инициативы общества, инновации в области декарбонизации и эффективность национальной климатической политики.

Компании Audi и Climeworks создают проект с улавливанием CO₂ из атмосферы.

В Исландии также появится подземное хранилище, в котором будут хранить углекислый газ, извлечённый из атмосферы. Насосная установка втягивает атмосферный воздух, прохождение которого через специальный адсорбент, связывает углекислый газ. После того, как адсорбент насыщен CO₂, его нагревают до 100 градусов Цельсия с помощью отработанного тепла от расположенной неподалёку геотермальной станции. Высвобождая углекислый газ – вода геотермальной электростанции Хедлискейди захватывает CO₂ и переносит эту воду на глубину 2000 м.

Также среди мер по сокращению выбросов CO₂, к примеру автомобилями, в Скандинавских странах являются платные дороги, налоги на автотранспорт, дорожный налог с грузовых автомобилей, сборы, взимаемые с воздушного транспорта, и популяризация электромобилей.

Однако за пределами Европы успехи в борьбе с изменением климата не так велики.

Развивающиеся страны. На сегодняшний день развивающиеся страны отстают от развитых с точки зрения реализации и масштаба законодательных мер по сокращению выбросов парниковых газов. Тем не менее работа в этом направлении ими ведется, учитывая потенциальные негативные последствия в случае отказа от принятия подобных мер, в том числе экономические санкции.

Так, в ЮАР закон о введении налога на выбросы углекислого газа вступил в силу в июне 2019 года. В Бразилии, Таиланде, Сенегале и Кот-д'Ивуаре обсуждается возможность введения национальных СТВ или налога на выбросы.

Чили, где уже введен углеродный налог, также рассматривает вопрос запуска СТВ в энергетическом секторе. В Мексике и Колумбии недавно были приняты законодательные инициативы о создании национальных СТВ в дополнение к существующим налогам на выбросы.

Национальный налог на углерод и трансграничный налог.

В целом национальный налог снижает выбросы CO₂ (В Швеции на 11% в год, в Исландии на 4%) однако углеродный налог имеет свои недостатки, такие как разная налоговая ставка, разное использование доходов от налога и перенос производств в развивающиеся страны. Возможно, трансграничный налог станет улучшенной версией национального.

2.4. Парижское соглашение и трансграничный углеродный налог

В декабре 2015 года по итогам 21-й конференции Рамочной конвенции об изменении климата (РКООНИК) было принято Парижское соглашение по климату, которое пришло на смену Киотскому протоколу. Этот документ был подписан 175-ю странами, в том числе и Россией.

В отличие от Киотского протокола, Парижское соглашение по климату, объединив впервые в истории усилия большинства мировых держав, предусматривает обязательное сокращение выбросов парниковых газов для всех стран-участниц, не определяя при этом конкретных величин сокращений. Это дает возможность каждой стране-участнице Соглашения определить эту величину самостоятельно, сообщив в Секретариат РКИК ООН конкретную информацию, после чего вклад страны в снижение планетарного выброса уже приобретает статус обязательства.

Документ вступил в силу 4 ноября 2016 года. По данным на 12 февраля 2020 года Соглашение подписали 195 стран и территориальных объединений. В ноябре 2019 года правительство Соединенных Штатов Америки официально уведомило ООН о своем решении выйти из Соглашения.

Россия подписала Парижское соглашение в 2016-м году, но ратифицировала его только в сентябре 2019 года. А 04 ноября этого же года президент Владимир Путин подписал указ № 666 "О сокращении выбросов парниковых газов", в котором провозглашено намерение к 2030 году сократить выбросы парниковых газов до 70% от уровня 1990 года. Исполнение этого указа предусматривает утверждение правительством России Стратегии долгосрочного развития России до 2050 года, разработанную Минэкономразвития. Данная Стратегия предполагает снижение углеродоемкости ВВП в Российской Федерации на 9% к 2030 и на 48% к 2050 году по сравнению с 2020 годом.

Минэкономразвития России подготовило стратегию долгосрочного развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. Базовый сценарий данной стратегии предполагает снижение выбросов парниковых газов к 2050 году на 36% (от уровня 1990 года), до 2 млрд т эквивалента CO₂. При этом накопленное снижение выбросов составит 80–81 млрд т, или около 8% глобального углеродного бюджета [21]. В настоящее время доработка и обсуждение Стратегии продолжаются, поскольку президент РФ Владимир Путин поручил кабмину при разработке стратегии социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года предусмотреть сокращение накопленного с 2021 по 2050 год объема чистой эмиссии парниковых газов в РФ до более низких значений по сравнению с показателями Европейского союза. Обновлённая Стратегия социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года будет представлена в ближайшие месяцы.

В декабре 2019 года Еврокомиссия (ЕК) запустила проект «Зелёная сделка», нацеленный на переход к более экологичной жизни в Евросоюзе, в рамках которого ЕК намерена представить ряд инициатив и законопроектов в ближайшие годы. Переход к экономике с ну-

левыми углеродными выбросами планируется к 2050 году. Одна из мер в рамках «Зелёной сделки» – введение углеродного сбора (трансграничного углеродного налога) на импорт товаров, поступающих в Европу и имеющих так называемый «углеродный след».

Размер налога и налоговое бремя на экономику России обсуждались более года, и 14 июля 2021 года Еврокомиссия представила масштабную программу мероприятий – экологический план EU Green Deal, предполагающий, среди прочего, поэтапное введение трансграничного углеродного налога для импортной продукции.

На начальном этапе налог будет взиматься с металлургической продукции, цемента, удобрений и электроэнергии. Для России это налогообложение затронет импорт стали, алюминия и электроэнергии. Схема отчетности по углеродному следу и налоговой базе работает в тестовом режиме с начала 2023 года, когда в действие вступит трехлетний переходный период до начала введения налогового сбора, который начнут взимать с 01 января 2026 года.

Согласно заявлению министра экономического развития России Максима Решетникова, механизм углеродного налога затронет российские поставки в ЕС железа и стали, алюминия, труб, электроэнергии и цемента в объеме \$7,6 млрд в год, (его слова РБК передал представитель). Он отметил также, что Еврокомиссия при разработке экологического плана вряд ли придерживалась соглашения ВТО, а также Рамочной конвенции ООН об изменении климата, в которой конкретно говорится о том, что меры по борьбе с изменением климата не должны ограничивать международную торговлю [2].

По результатам исследований консалтинговой компании KPMG [10] Российские компании, ориентированные на экспорт из-за введения в Евросоюзе в 2026-2035 гг. трансграничного углеродного регулирования лишатся от 15,5 млрд до 34,1 млрд. евро при оптимистичном сценарии и от 18,9 млрд до 37,7 млрд. евро – при пессимистичном.

Импортёры, поставляющие продукцию в ЕС, будут покупать цифровые сертификаты на каждую тонну выбросов CO₂, которая выделилась при производстве того или иного товара. При покупке сертификатов они должны будут заплатить столько же, сколько платят и европейские компании в рамках системы торговли квотами. К примеру, в 2021 году квота на выбросы тонны CO₂ в Европе стоила около 50 евро.

Согласно оценкам консалтинговой компании BCG [24] ежегодные издержки российских импортёров, поставляющих продукцию на европейский рынок, и оплачивающих трансграничный налог, к 2030 году могут достигнуть \$3,5–6,3 млрд. Середина оценочного диапазона – 4,9 млрд. рублей.

Следует отметить, что мнения аналитиков в оценке ущерба от введения трансграничного углеродного налога для Российских предприятий, направляющих продукцию на экспорт в ЕС, расходятся. Тем не менее, все оценки однозначно свидетельствуют о весьма значительной дополнительной нагрузке на российский бизнес, которая сразу же и в немалой степени скажется на доходе и благосостоянии всего народа России.

Заключение

Провозглашенные ЕС цели по снижению выбросов ПГ и достижению углеродной нейтральности к 2050 году определяют основные задачи в области минимизации эмиссии ПГ и адаптации к изменениям климата, которые сводятся к следующему:

Изучение динамики антропогенных и природных выбросов ПГ;

Совершенствование количественных оценок эмиссии и секвестрации ПГ;

Актуализация ранее выполненных исследований по эмиссии и секвестрации ПГ, организация мониторинга этих процессов;

Развитие технологий по секвестрации антропогенного CO_2 – сбор и поглощение из газовых смесей на разных стадиях технологических процессов, утилизация и захоронение в различных природных объектах;

Развитие и внедрение возобновляемых источников энергии.

Сокращение выбросов CO_2 и CH_4 на всех этапах поиска, разведки и добычи углеродсодержащего ископаемого топлива.

Создание в Татарстане специальной межведомственной комиссии на постоянной основе, в задачи которой будет входить координация работы различных управлений и ведомств с целью активизации и оптимизации работ по снижению выбросов ПГ.

Вследствие того, что ни Россия, ни Татарстан не смогут отказаться к 2050 году от использования ископаемого углеродсодержащего топлива, необходима разработка новых технологий его сжигания, позволяющих значительно снизить выбросы CO_2 на всех стадиях сжигания топлива.

Литература.

1. Болдырев В. Водяной пар и «парниковый эффект». Москва. REGNUM, 26.02.2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://regnum.ru/news/innovatio/2086744.html> (дата обращения 12.08.2021). – Материал взят с сайта <https://regnum.ru/news/innovatio/2086744.html>.
2. Бурмистрова С. Новый налог ЕС сильнее всего ударит по экспортерам алюминия и стали. РБК 14.07.2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rbc.ru/> (дата обращения 10.08.2021). – Материал взят с сайта <https://www.rbc.ru/business/14/07/2021/60eee84c9a7947437acf4b2a>.
3. Гимади В., Кудрин А., Амирагян А., Поминова И. и др. Выбросы метана в нефтегазовой отрасли. Энергетический бюллетень. – июль, 2020. – № 86. – 28 с.
4. Гункель Е. Как Россия будет выполнять Парижское соглашение по климату. – Москва, 10.10.2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dw.com/ru/> (дата обращения 15.08.2021). – Материал взят с сайта <https://www.dw.com/ru/>
5. Давиденко С., Викулова О., Каркина П. Краткая история климатического кризиса [Электронный ресурс]. URL: <https://greenpeace.ru/> (дата обращения 17.08.2021). – Материал взят с сайта <https://greenpeace.ru/stories/2021/04/09/kratkaja-istorija-klimaticheskogo-krizisa/>
6. Доклад МГЭИК: климат можно спасти, если действовать быстро [Электронный ресурс]. URL: <https://greenpeace.ru/> (дата обращения 19.08.2021). – Материал взят с сайта <https://greenpeace.ru/news/2018/10/08/doklad-mgjeik-klimat-mozhno-spasti-esli-dejstvovat-bystro/>.
7. Киотский протокол. РИА Новости, 16.02.2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/> (дата обращения 05.08.2021). – Материал взят с сайта <https://ria.ru/20200216/1564763482.html>.
8. Киселев А.А., Кароль И.Л. С метаном по жизни. – Санкт-Петербург: Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова. 2019. – 73 с.: ил. ISBN 978-5-9500883-7-7.
9. Колбикова Е., Лебедской-Тамбиев А., Костюк Р. Так ли страшен ТУР, как его малюют. Национальная ассоциация нефтегазового сервиса [Электронный ресурс]. URL: <https://nangs.org/> (дата обращения 14.08.2021). – Материал взят с сайта <https://nangs.org/news/ecology/takli-strashen-tur-kak-ego-malyuyut>.
10. КРМГ подсчитала ущерб для российских экспортеров от углеродного налога ЕС. Ведомости, 05.08.2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vedomosti.ru/> (дата обращения 10.08.2021). – Материал взят с

- сайта <https://www.vedomosti.ru/business/news/2021/08/05/881009-kpmg-podschitala-uscherb-dlya-rossiiskih-eksporterov-ot-uglerodnogo-naloga-es>.
11. Кряжев А. Ученые подсчитали выбросы CO₂ от лесных пожаров в Сибири. РИА Новости, 08.08.2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/> (дата обращения 10.08.2021). – Материал взят с сайта <https://ria.ru/20190808/1557292850.html>.
 12. Кутузова М. SF₆ – грязная тайна чистой электроэнергетики. Нефтянка [Электронный ресурс]. URL: <http://neftianka.ru/> (дата обращения 20.08.2021). – Материал взят с сайта <http://neftianka.ru/sf6-gryaznaya-tajna-chistoj-elektroenergetiki/>.
 13. Мальцева А. Как меняются отрасли, ответственные за выбросы парниковых газов. Ведомости & [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vedomosti.ru/> (дата обращения 22.08.2021). – Материал взят с сайта <https://www.vedomosti.ru/partner/articles/2021/06/02/872559-otrasli-parnikovih-gazov>.
 14. Метеоролог и я. Научно-популярный метеорологический проект [Электронный ресурс]. URL: <https://meteo59.ru/book/index.php> (дата обращения 17.08.2021). – Материал взят с сайта <https://meteo59.ru/book/index.php>.
 15. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2017 гг. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – Москва, 2019. – 471 с.
 16. Парниковые газы [Электронный ресурс]. URL: <https://plus-one.ru/> (дата обращения 10.08.2021). – Материал взят с сайта <https://plus-one.ru/sustainability/2020/05/29/parnikovye-gazy>.
 17. Свежий взгляд. Глобальная оценка лесных ресурсов 2020 года. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций <http://www.fao.org/> (дата обращения 20.08.2021). – Материал взят с сайта <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/ru>.
 18. Слинг Д. Эволюция науки о климате – точка зрения Джулии Слинго. Bulletin: Vol 66 (1) – 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://public.wmo.int/ru/> (дата обращения 16.08.2021). – Материал взят с сайта <https://public.wmo.int/ru/resources/bulletin/>.
 19. Снакин В.В., Доронин А.В., Фрейбергс Г., Щербицкис И., Власова И.В., Чудовская И.В. Метан в атмосфере: динамика и источники /Жизнь Земли. – 2017. – 39(4) – С. 365–380
 20. Статистический ежегодник мировой энергетики [Электронный ресурс]. URL: <https://yearbook.enerdata.ru/> (дата обращения 17.08.2021). – Мате-

- риал взят с сайта <https://yearbook.enerdata.ru/co2/emissions-co2-data-from-fuel-combustion.html>
21. Фадеева А. У России появился план по снижению выбросов парниковых газов до 2050 года РБК [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rbc.ru/> (дата обращения 10.08.2021). – Материал взят с сайта <https://www.rbc.ru/business/23/03/2020/5e73c8739a7947f53f4f3a06>.
 22. Четвертый двухгодичный доклад Российской Федерации, представленный в соответствии с решением 1/СР.16 Конференции Сторон Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – Москва, 2019. – 54 с.
 23. Эд Длугокенки, Сандер Хаувелинг, Руд Дирксен, Марк Шредер, Дейл Херст Наблюдения за водяным паром. Всемирная метеорологическая организация [Электронный ресурс]. URL: <https://www.skepticalscience.com/> (дата обращения 17.08.2021). – Материал взят с сайта <https://www.skepticalscience.com/water-vapor-greenhouse-gas.htm>.
 24. Эксперты оценили оценку потерь для России от углеродного налога. РБК, 06.08.2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rbc.ru/> (дата обращения 11.08.2021). – Материал взят с сайта <https://www.rbc.ru/economics/06/08/2021/610beca39a79474b026be65f>
 25. Enerdata. Статистический ежегодник мировой энергетики [Электронный ресурс]. URL: <https://yearbook.enerdata.ru/> (дата обращения 11.08.2021). – Материал взят с сайта Добыча каменного угля и лигнита | Мировая добыча угля | Enerdata.
 26. Позиция WWF России по лесным пожарам WWF [Электронный ресурс]. URL: <https://wwf.ru/> (дата обращения 23.08.2021). – Материал взят с сайта <https://wwf.ru/about/positions/lesnye-pozhary/>
 27. Позиция WWF России по лесным пожарам WWF [Электронный ресурс]. URL: <https://wwf.ru/> (дата обращения 23.08.2021). – Материал взят с сайта <https://wwf.ru/resources/news/lesa/rossiya-vozglavila-reyting-stran-liderov-poutrate-dikikh-lesov-planety-/>
 28. Saliakhova A. Function of the carbon border tax in climate policy and compatibility with WTO law. Faculty of Law. Candidate number: 7024. Number of words: 16 157. – 2021. – 52 P.

Оглавление

Введение	3
1. Парниковые газы и их содержание в атмосфере Земли	6
2. Международные соглашения и экономические механизмы в регулировании выбросов парниковых газов	35
2.1. Киотский протокол	36
2.2. Экономические механизмы регулирувания выбросов ПГ	38
2.3. Опыт скандинавских стран в развитии системы регулирования выбросов ПГ и снижения эмиссии CO ₂	40
2.4. Парижское соглашение и трансграничный углеродный налог	48
Заключение	52
Литература	53